

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Otimização do Despacho de Mini-Hídricas para
Integração em Ambiente de Mercado**

© Bruno Alexandre Traila Pires, 2012

Agradecimentos

Com este momento pretende-se agradecer e homenagear todas as pessoas que contribuíram, direta ou indiretamente para a elaboração com sucesso desta dissertação, focando as seguintes.

Ao meu orientador, Professor Doutor Cláudio Monteiro, pelo tempo despendido bem como pelo apoio constante e incansável, sugestões e atitudes críticas quem em muito contribuíram para a elaboração desta dissertação, um grande agradecimento.

Um sentido agradecimento aos meus colegas e amigos, especialmente ao Luís Oliveira, Fábio Freitas, Daniel Magalhães, Filipe Bouça, Daniel fonte, Justino Sousa e Hélder Costa entre outros que sempre me acompanharam ao longo destes últimos anos de curso.

Um agradecimento especial aos meus pais, pelo estímulo incansável e apoio incondicional desde o primeiro dia. Pela paciência, disponibilidade e uma profunda amizade tão característica, com que sempre me ajudaram, e impulsionaram oferecendo-me a educação, que sempre se esforçaram em me proporcionar, e que hoje me define.

A minha irmã pelos momentos de descontração e amizade proporcionados, que muito permitiram respirar nos momentos mais complicados.

A minha namorada Filipa pela sua paciência e compreensão, pela força, coragem e carinho transmitidos ao longo de parte deste longo percurso, proporcionando mais fácil e menos atribulada esta concretização.

Por tudo isto entre outros aspetos o meu sincero muito obrigado.

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	vii
Agradecimentos	ix
Índice.....	xi
Lista de figuras	xiii
Lista de tabelas	xvii
Abreviaturas e Símbolos	xix
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - Enquadramento	1
1.2 - Motivação	2
1.3 - Objetivos	3
1.4 - Informação utilizada na dissertação.....	3
1.5 - Estrutura da dissertação.....	4
Capítulo 2	5
Estado da Arte	5
2.1 - Centrais Mini-Hídricas.....	5
2.1.1 - Introdução	5
2.1.2 - Classificação	6
2.1.3 - Constituição	7
2.1.4 - Estratégias de Produção	9
2.2 - Produção em Regime Especial.....	11
2.3 - Mercado de eletricidade.....	13
2.4 - Aquisição de Energia	15
2.5 - Regime de tarifa	16
2.6 - Conclusão	21
Capítulo 3	23
Caracterização das centrais.....	23
3.1 - Escolha das centrais.....	23
3.1.1 - Procedimento.....	24
3.1.2 - Característica de funcionamento estudadas	27

3.2 - Limites de funcionamento das centrais.....	32
3.2.1 - Introdução	32
3.2.2 - Ajuste das linhas de tendência	32
3.2.3 - Conclusão	42
3.3 - Algoritmo de despacho individual	42
3.3.1 - Introdução.....	42
3.3.2 - Modelo Matemático	42
3.3.3 - Procedimento	44
Capítulo 4	49
Estudo económico das centrais.....	49
4.1 - Estratégia de produção atual	49
4.1.1 - Introdução.....	49
4.1.2 - Análise de resultados.....	51
4.1.3 - Conclusão.....	59
4.2 - Despacho individual	60
4.2.1 - Introdução	60
4.2.2 - Apresentação de Resultados	60
4.3 - Análise com despacho otimizado integrando mercado com bonificação.....	68
4.3.1 - Introdução.....	68
4.3.2 - Análise de resultados.....	68
4.3.3 - Conclusão	73
Capítulo 5	76
Conclusões	76
Trabalho Futuro	77
Referências	78
Anexo A - Despacho Individual	80
A.1 - Dados de produção e Resultados.....	80
A.2 - Folha de Cálculo do despacho diário.....	81
A.3 - Script em Visual Basic do despacho económico	82

Lista de figuras

Figura 2.1 - Constituição de uma CMH	8
Figura 2.2 - Característica de Produção de uma CMH em função do tempo [11].....	9
Figura 2.3 - Característica de produção CMH A [11].....	10
Figura 2.4 - Característica de produção CMH B [11].....	10
Figura 2.6 - Evolução da PRE no SEN [15]	11
Figura 2.7 - Mercado Pool [17]	14
Figura 2.8 - Diagrama de funcionamento da aquisição de energia ao PRE	15
Figura 2.9 - Evolução do preço de Mercado e do valor de tarifa [21]	21
Figura 3.1 - Exemplo de característica de produção.....	23
Figura 3.2- Valores tomados por h_c	25
Figura 3.3 - Exemplo de estimativa de produção	25
Figura 3.4 - Parâmetro de caracterização.....	26
Figura 3.5 - Indicador de Produção	27
Figura 3.6 - Indicador de Produção CMH 1	28
Figura 3.7 - Característica CMH 2	29
Figura 3.8 - Característica CMH 3	29
Figura 3.9 - Característica CMH 4	30
Figura 3.10 - Característica CMH 5	31
Figura 3.11 - Limites de funcionamento CMH1	33
Figura 3.12 - Diagrama horário de produção CMH1	34
Figura 3.13 - Limites de funcionamento CMH2	35
Figura 3.14 - Diagrama horário de produção CMH2	35

Figura 3.15 - Limites de funcionamento CMH3	36
Figura 3.16 - Diagrama horário de produção CMH3	37
Figura 3.17 - Limites de funcionamento CMH4	37
Figura 3.18 - Diagrama horário de produção CMH4	38
Figura 3.19 - Limites de funcionamento CMH5	39
Figura 3.20 - Diagrama horário de produção CMH5	39
Figura 3.21 - Limites de funcionamento do acumulado nacional	40
Figura 3.22 - Diagrama horário de produção	41
Figura 3.23 - Fluxograma despacho individual	45
Figura 3.24 - Preços de Mercado	46
Figura 3.25 - Limites de Produção	46
Figura 3.26 - Preços de mercado ordenados	47
Figura 3.27 - Resultado do despacho baseado nos preços de mercado	47
Figura 4.1 - Diagrama de valorizações	50
Figura 4.2- Previsão de Produção Diária	50
Figura 4.3 - Análise financeira comparativa da integração da CMH1 em Mercado	51
Figura 4.4 - Análise financeira comparativa da integração da CMH2 em Mercado	52
Figura 4.5 - Análise financeira comparativa da integração da CMH3 em Mercado	53
Figura 4.6 - Análise financeira comparativa da integração da CMH4 em Mercado	54
Figura 4.7 - Análise financeira comparativa da integração da CMH5 em Mercado	56
Figura 4.8 - Análise financeira comparativa da integração da produção anual em Mercado...	57
Figura 4.9 - Diagrama de aquisição de energia	58
Figura 4.10 - Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado da CMH1	61
Figura 4.11 - Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado da CMH2	62
Figura 4.12 - Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado da CMH3	63
Figura 4.13 - Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado CMH4	64
Figura 4.14 - Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado CMH5	65

Figura 4.15 - Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado Nacional	66
Figura 4.16 - Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH1	68
Figura 4.17- Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH2	69
Figura 4.18 - Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH3	70
Figura 4.19 - Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH4	71
Figura 4.20 - Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH5	72
Figura 4.21 - Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para o parque de produção nacional	73

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Classificação Central Hidro-elétrica	6
Tabela 2.2 – Majoração Ambiental.....	20
Tabela 4.1– Análise financeira comparativa da integração da CMH1 em Mercado	51
Tabela 4.2 – Análise financeira comparativa da integração da CMH2 em Mercado	53
Tabela 4.3 – Análise financeira comparativa da integração da CMH3 em Mercado	54
Tabela 4.4 – Análise financeira comparativa da integração da CMH4 em Mercado	55
Tabela 4.5 – Análise financeira comparativa da integração da CMH4 em Mercado	56
Tabela 4.6 – Análise comparativa financeira da integração da PMH nacional	57
Tabela 4.7 – Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado	61
Tabela 4.8 – Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado	62
Tabela 4.9– Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado CMH3.....	63
Tabela 4.10 – Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado CMH4.....	64
Tabela 4.11 – Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado CMH5.....	65
Tabela 4.12 – Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado Nacional	66
Tabela 4.13 – Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH1	69
Tabela 4.14 – Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH2	70
Tabela 4.15 – Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH3	70
Tabela 4.16 – Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH4	71
Tabela 4.17 – Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH5	72

Tabela 4.18 – Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para o parque de produção nacional.....	73
--	----

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

CEE	Comunidade Económica Europeia
CMH	Central mini-Hídricas
CUR	Comercializador de Ultimo Recurso
DL	Decreto-lei
DRE	Diário da Republica
EDP	Energia de Portugal
ERSE	Entidade Reguladora do Sistema elétrico
ESHA	<i>European Small Hydropower Association</i>
ETAR	Estação de Tratamento de águas residuais
FEDER	Fundo Europeu para o Desenvolvimento Nacional
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
FV	Central Fotovoltaica
MIBEL	Mercado Ibérico de Eletricidade
OMEL	<i>Operador del Mercado Ibérico de Energía</i>
PA	Parcela Ambiental
PF	Parcela Fixa
PRE	Produção em Regime Especial
RSU	Resíduos sólidos Urbanos
SEN	Sistema Elétrico Nacional
TUGS	Tarifa do Uso Global do Sistema

Lista de símbolos

%	Percentagem
€	Euro
€/MWh	Euro por Megawatt-hora
e	Função Exponencial
g	Aceleração gravítica
g	Gramma
h	hora do dia
h_c	Característica central da sigmoide
h_s	Característica de espaçamento da sigmoide
H_u	Queda útil
kW	Kilowatt
kWh	Kilowatt-hora
Min	Minimização de determinada função
MW	Megawatt
$P_{est,h}$	Produção estimada na hora h
P_{isnt}	Potência instalada na central
P_{max}	Produção máxima
P_{min}	Produção mínima
P_{real}	Produção real da central
Q_i	Caudal disponível
t	tempo em horas
η	Rendimento

Capítulo 1

Introdução

O Objetivo desta dissertação consiste na elaboração de um trabalho sobre o desenvolvimento de um despacho das CMH, que beneficie tanto o promotor como o agregador e o responsável pela gestão do sistema elétrico, para a inclusão no mercado.

Neste capítulo apresenta-se uma pequena introdução imprescindível à compreensão do problema.

1.1 - Enquadramento

No ano de 2010 foi aprovado e publicado em Diário da República o Decreto-lei nº141 de 31 de dezembro, que para além de outras metas delineadas, assegura a necessidade de aumentar para 31% do consumo bruto de energia renovável, e para 10% no caso dos transportes. Tudo isto, satisfeito através de produção de energia de origem renovável, de forma a atingir sustentabilidade ambiental. As CMH assumem neste seguimento uma meta de 500MW de potência instalada. Para atingir este patamar o governo promoveu concursos públicos para adjudicação de algumas linhas de água. [1]

Atualmente em Portugal a energia produzida em regime especial, na qual se enquadra a energia produzida nas CMH, é remunerada por um regime de tarifa, na qual o comercializador de último recurso tem por obrigação comprar toda a energia produzida, ao valor definido na tarifa, por estas tecnologias de produção. [2]

A tarifa tem como base de cálculo uma lógica de valores evitados, procurando estimar os custos evitados em termos de potência instalada na energia produzida através de combustíveis fósseis e na proteção do ambiente. Para o caso particular das CMH, o valor da tarifa calculada mensalmente depende do cenário horário no qual a energia é produzida. Toda a energia que é comprada pelo comercializador de último recurso acaba por ir para mercado, onde é imediatamente despachada por se tratar de produção em regime especial, contribuindo assim para uma redução dos preços de mercado. A diferença entre o valor pago em regime de tarifa aos promotores das CMH e o valor do preço de mercado ao qual é vendida a energia, dá-se o nome de sobrecusto com a PRE. [3]

Nos últimos anos, o valor do sobrecusto pago pela tecnologia estudada, bem como a PRE em geral, têm aumentado. Estes aumentos resultam de novos ajustes realizados pelo estado no regime de tarifas, mas mais significativamente, na diminuição que se tem vindo a verificar nos preços de mercado.

1.2 - Motivação

Analisando as fontes que se pronunciam acerca da produção de energia em CMH, pode-se perceber que existem diversas razões que apontam favoravelmente para o seu desenvolvimento, designadamente: [4,5,6,7]

- A eficiência das centrais (cerca de 80%), a sua característica limpa, segura e renovável;
- A longevidade, apontando ciclos de vida entre os 50 e 75 anos;
- O respeito pelo meio ambiente;
- A contribuição para criar um sistema elétrico diversificado e fiável aquando da ocorrência de perturbações na rede;
- A sua característica dispersa possibilitando a evolução, o desenvolvimento social e económico de populações, apresentando-se assim, como fonte de energia autónoma e fiável a longo prazo. Estando esta localizada proximamente do consumidor, minimiza perdas na rede de transmissão.

Esta forma de produção de energia elétrica é uma das que tem mais capacidade de armazenamento de energia, neste caso, sob a forma de água a montante da central. Esta capacidade de armazenamento, aliada à imprevisibilidade de produção de energia eólica, quando comparada com a própria hídrica, aumenta o interesse pela possibilidade de despacho deste tipo de centrais que ajudariam a colmatar desvios na produção por parte da energia proveniente do vento. Percebe-se deste modo, que esta temática apresenta um elevado potencial de desenvolvimento.

A motivação desta dissertação é o desenvolvimento de uma forma de despacho destas mesmas centrais, de forma a permitir aumentar o benefício dos promotores, bem como diminuir o contributo do estado neste tipo de produção, passando o mercado a suportar uma maior parte do valor associado a esta energia. Assim, é possível aumentar a quantidade de potência instalada, criando postos de trabalho e ainda, diminuindo a dependência das importações em termos de fontes de energia primária ou mesmo energia elétrica.

Salienta-se que a introdução de mais potência instalada em regime especial condiciona a gestão das reservas, uma vez que este tipo de produção não é tão constante e fiável como as centrais convencionais. No caso das hídricas pode ser ultrapassado utilizando um modelo de despacho, seguro e fiável.

O funcionamento atual, através de regime de tarifa da remuneração das produções das centrais, implica um acréscimo na fatura de eletricidade de cada um dos consumidores finais da energia. Valor este, que viajando ao longo da cadeia de valor do sistema elétrico, reverte a favor do comercializador de último recurso, pois este está responsável pela compra de toda a energia produzida em regime especial e pela posterior venda desta em mercado (MIBEL)

[2]. Com a implementação de despacho e introdução em mercado da energia produzida em regime especial, haverá um aumento do valor recebido através do mercado de eletricidade, sendo o valor pago pelos consumidores finais, menor. Por outro lado, caso se mantenha o valor pago pelos consumidores finais, a implementação do despacho e o aumento do valor recebido através do mercado, aumentará os valores de lucro dos promotores apresentando-se como um incentivo no aumento de potência instalada.

1.3 - Objetivos

O principal objetivo desta dissertação é o desenvolvimento de um despacho das CMH, que beneficie tanto o promotor como o agregador e o responsável pela gestão do sistema elétrico, para a inclusão no mercado.

Há no entanto outros objetivos que são:

- Estudo das características de produção das CMH;
- Determinação dos valores finais de valorização tendo em conta os vários regimes de funcionamento das CMH;
- Otimização de uma estratégia de operação das CMH, considerando as características e os preços de mercado;
- Simulação de vários tipos de CMH, definição de estratégia de operação otimizada;
- Análise económica dos valores envolvidos com a introdução da nova estratégia.

1.4 - Informação utilizada na dissertação

Para a realização desta dissertação foram necessários alguns dados, nomeadamente: preços de mercado; dados característicos de algumas centrais a nível nacional; dados históricos e horários de produção.

Os preços de mercado referidos foram descarregados da página web da OMEL [8], a qual apresenta uma quantidade e especificação de dados mais adequada à análise pretendida.

Dados relativos a características das CMH foram retirados também da página web do projeto denominado “energia endógenas de Portugal”, base de dados das fontes renováveis de energia. [9]

Os dados de produção utilizados neste trabalho são reais e fornecidos pelos promotores de várias centrais nacionais, sendo descaracterizados para, assim, garantir a confidencialidade dos mesmos.

1.5 - Estrutura da dissertação

Este trabalho é composto por cinco capítulos: o primeiro de carácter introdutório, constando os objetivos e a motivação que estão na origem desta dissertação, entre outros; o segundo capítulo, denominado de estado da arte, apresenta os conceitos teóricos que formaram o ponto de partida para a elaboração e compreensão desta dissertação; o terceiro capítulo apresenta os procedimentos elaborados para a caracterização das diferentes centrais a utilizar neste estudo, seguida da apresentação detalhada da formulação e procedimento prático do despacho, baseado nos preços de mercado utilizado para otimizar a estratégia da central sob o ponto de vista de remuneração; o quarto capítulo apresenta os resultados das indicações implícitas nos objetivos, começando por analisar comparativamente a possível alteração a nível de remuneração com a entrada das centrais mini-hídricas no mercado e com o regime de tarifa utilizado e apresenta, ainda, os resultados provenientes do despacho baseado nos preços de mercado e a sua comparação com os demais paradigmas de produção e remuneração já especificados. Por fim, no capítulo cinco, apresenta-se as várias conclusões deste estudo e indica-se algumas possibilidades para a sua evolução futura.

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1 - Centrais Mini-Hídricas

2.1.1 - Introdução

No início e finais do século passado foram instalados grandes números de centrais hidroelétricas com potências desde dezenas até poucos milhares de quilowatts. Hoje em dia, estas seriam classificadas como pequenas centrais hidroelétricas ou então centrais mini-hídricas.

Naquelas décadas existia uma ideologia acerca dos recursos fósseis que permitia acreditar que estes eram inesgotáveis. Associada a esta linha de pensamento, também se defendia que as redes densamente malhadas da altura e a existência de grandes cursos hídricos permitiam aproveitamentos de grandes dimensões em vários locais. Tudo isto, levou à centralização de blocos de unidades de produção de energia em locais fora dos grandes centros de consumo. Este facto, e tendo em conta o aumento dos custos de manutenção e de operação por unidade de energia produzida nas pequenas centrais hidroelétricas da altura, tornou-se incomportável conduzindo à degradação e consequente encerramento de muitas delas.

Posteriormente, a situação energética mudou significativamente, isto é, o valor pago pela energia produzida através do uso de combustíveis fósseis aumentou, os melhores locais para produção de energia hidroelétrica de grande porte já estavam a ser utilizados e a evolução da automação, permitiram reduzir significativamente as despesas de exploração das centrais. Assim, renasce o interesse pelas centrais mini-hídricas que de entre as principais fontes de energia elétrica descentralizada, a mini-hídrica oferecia mais condições de rápido desenvolvimento. Por um lado, pelo já conhecimento a nível nacional sobre centrais deste tipo, e consequente domínio da tecnologia, e por outro, o recurso hidrológico português que já estava bem estruturado, fruto de estudos intensivos levados a cabo no passado, nos principais cursos de água. [10,11,12]

Com o primeiro aparecimento de legislação, especificamente para centrais em regime especial, a publicação do Decreto-lei nº 189/88 [13] nas quais se englobavam as mini-hídricas e não só, é notório um grande passo para a mudança da produção de energia a nível descentralizado. A partir deste momento, este tipo de centrais aumentou significativamente e este recurso rapidamente se tornou, para os promotores, uma fonte de energia extremamente rentável. Os financiamentos dos projetos eram apoiados, com o auxílio do programa comunitário VALOREN [14], cujo principal objetivo era incentivar a utilização de recursos renováveis na produção de eletricidade. Este programa comunitário aparece no âmbito do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional, FEDER, criado pela CEE.

Toda a energia retirada do recurso hídrico pela central era injetada na rede elétrica, uma vez que sendo este tipo de energia capaz de oferecer uma quantidade constante de energia, não seria de esperar muitas perturbações no funcionamento do sistema elétrico nacional. [12]

Segundo dados de 2009 as CMH apresentam uma produção de 327 MW, prevendo-se para o futuro alcançar um aumento da potência instalada para cerca de 500 ou 600 MW com uma produção a rondar os 1.800GWh. [11,13]

2.1.2 - Classificação

Em Portugal começou-se por se designar de centrais mini-hídricas todos os aproveitamentos cuja potência instalada seria inferior a 10 MW, fazendo deste limite a diferenciação entre as grandes e pequenas centrais hidrelétricas. As primeiras, devido ao seu impacto ambiental não são consideradas renováveis, ao contrário das mais pequenas. As centrais podem classificar-se pela sua altura de queda, e também pela potência instalada diferenciando desde micro centrais até pequenas centrais.

Em termos de Potência podemos distinguir 3 tipos de centrais:

Tabela 2.1 – Classificação Central Hidroelétrica [15]

Classificação	Potência Instalada [MW]
Micro Central Hidroelétrica	<0,5
Mini Central Hidroelétrica	<2
Pequena Central Hidroelétrica	<10

A Potencia a instalar numa central hidroelétrica depende maioritariamente de dois fatores físicos, sendo eles a altura da queda e o caudal no local da exploração. Esta relação pode ser expressa pela seguinte equação:

$$P_{inst} = \eta * g * H_u * Q_i$$

- P_{inst} é a potência instalada.
- η é a eficiência do sistema dado pelos diversos componentes hidráulicos do sistema.
- g é a aceleração gravítica.
- H_u é a queda útil.
- Q_i o caudal disponível.

No entanto, podemos ainda distinguir as CMH em termos de capacidade de armazenamento. Esta distinção é fundamental, pois possibilita perceber quais as centrais em que o despacho não é possível, mas também, ajuda provar as vantagens da tomada de opção por técnicas de gestão corretas.

2.1.3 - Constituição

Para melhor compreender alguns dos conceitos que serão abordados no decorrer desta dissertação será de seguida introduzida detalhadamente, bem como através da figura 2.1, a constituição de uma central mini-hídrica:

- Albufeira e respetivo açude;
- Canal de adução;
- Conduta forçada;
- Edifício da central;
- Restituição;
- Caudal ecológico.

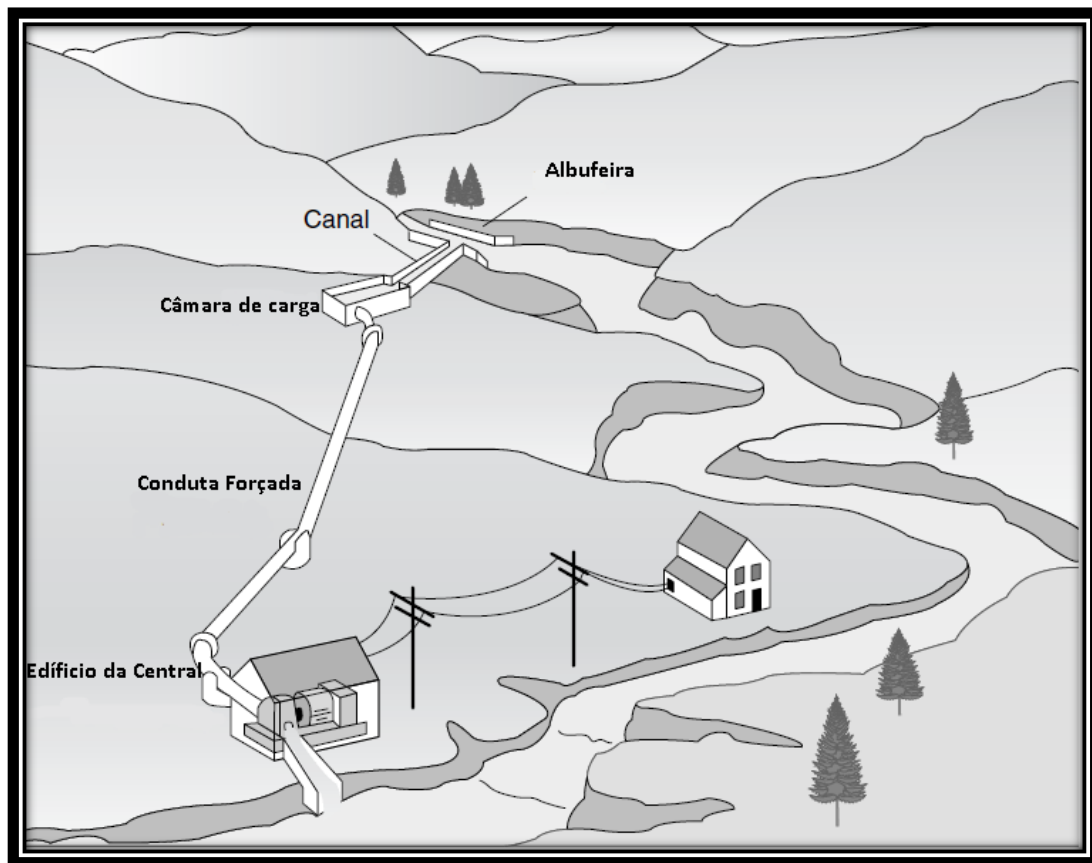


Figura 2.1 - Constituição de uma CMH [15]

A designação de albufeira é dada à quantidade de água formada por rios ou ribeiras devido à introdução de uma estrutura que impede o seu curso natural. [15]. Esta estrutura tem o nome de açude de pequena dimensão para exploração em fio de água e de grande dimensão para exploração através de barragem impedindo a água de seguir o seu curso natural, acumulando assim, energia a jusante da central dada a sua capacidade de modificação de leitos. É assim, necessária uma análise expressiva tanto a nível de planeamento de terrenos como de fauna e flora local.

O canal de adução é o elemento responsável pela condução da água do leito do rio para a câmara de carga. Este canal tem um pequeno desnível para possibilitar a circulação da água, feito em céu aberto normalmente escavado em pedra, e em raras exceções em conduta fechada. No caso dos aproveitamentos em fio de água, este canal pode estender-se por várias dezenas e até centenas de metros. [16]

A câmara de carga é a estrutura que faz a ligação entre o canal de adução e a conduta forçada. Esta permite fazer a transição entre o escoamento livre característico do canal de adução e o escoamento de pressão da conduta forçada. Permite também, em caso de necessidade de corte na produção de energia, minimizar o choque hidráulico no fim da conduta. Possibilita ainda, evitar a interrupção de fornecimento de água à conduta forçada quando se dá uma abertura severa do dispositivo do controlo de caudal, enquanto o canal de adução não recupera o regime normal de escoamento. Este elemento é dimensionado dependentemente da altura da queda pois quanto mais alta a queda maior será o volume necessário para satisfazer a necessidade do canal de adução.

A conduta forçada é o elemento que é responsável por conduzir a água desde a câmara de carga até ao edifício da central, mais concretamente às turbinas. Este elemento tem um desnível já bastante acentuado uma vez que pretende fazer uso da pressão criada. Este elemento aparece sob a forma de conduta fechada de aço.[15]

O edifício da central é o local onde estão as turbinas, juntamente com geradores e equipamento de controlo que possibilitam a transformação da energia mecânica proveniente da água a alta pressão em energia elétrica a injetar na rede. Este edifício situa-se no fim de toda a estrutura, sendo o passo final na transformação da natureza da energia, seguido apenas do canal de restituição que devolve a água ao leito natural do rio. Pode existir também nesta central um elemento que não faz parte integrante no funcionamento da central, no entanto, é imposto para proteção ambiental. Este é o caudal ecológico. [16]

2.1.4 - Estratégias de Produção

Existem de facto, diversos tipos de comportamentos associados às várias centrais e representativos das estratégias a nível da produção, devido a características técnicas das próprias, ou até, assumidas pelos promotores para determinado aproveitamento. [15]

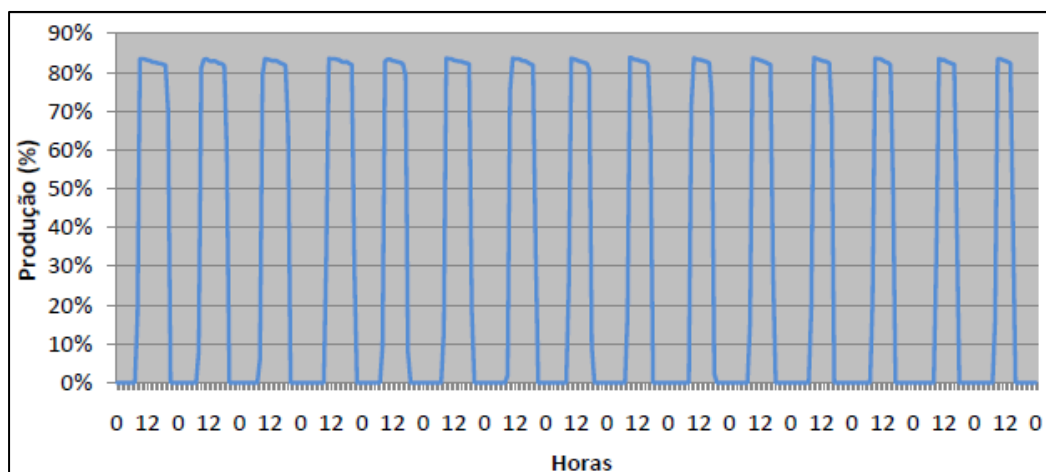


Figura 2.2 - Característica de Produção de uma CMH em função do tempo [15]

Como podemos ver pela Figura 2.2, uma representação da produção de uma quinzena de uma CMH, existe uma periodicidade. A central inicia a produção todos os dias aproximadamente às 8 horas, finalizando a mesma pelas 20 horas. Este horário é semelhante ao horário denominado como de ponta, e que em comparação com o horário de vazio é mais bem remunerado. Assim sendo, percebe-se que a característica apresentada, insere-se sem limitações numa estratégia desenhada para maximizar o lucro tendo em conta o regime tarifário em vigor atualmente em Portugal [17]. No entanto, podem ocorrer situações de centrais que apresentam tipos diferentes de comportamentos. Como vemos nas Figuras 2.3 e 2.4.

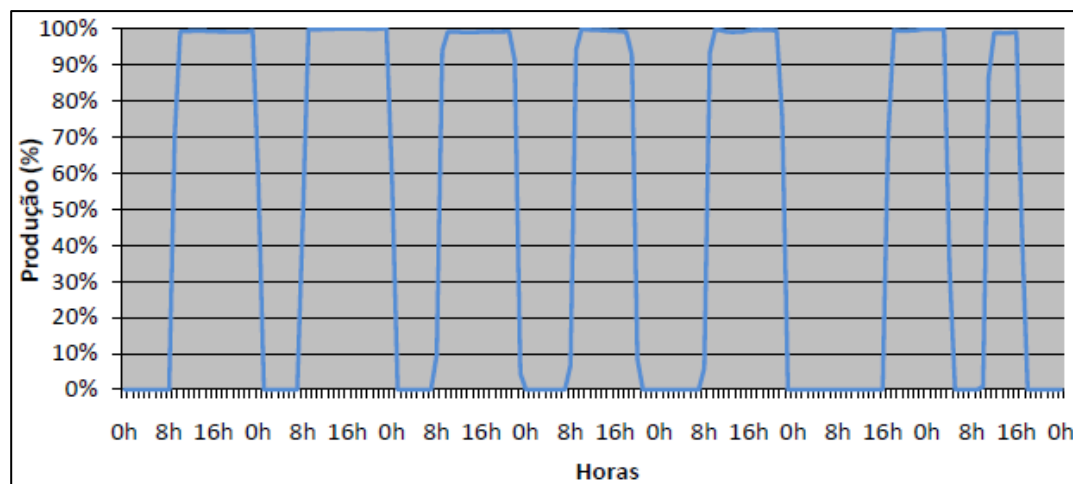


Figura 2.3 - Característica de produção CMH A [15]

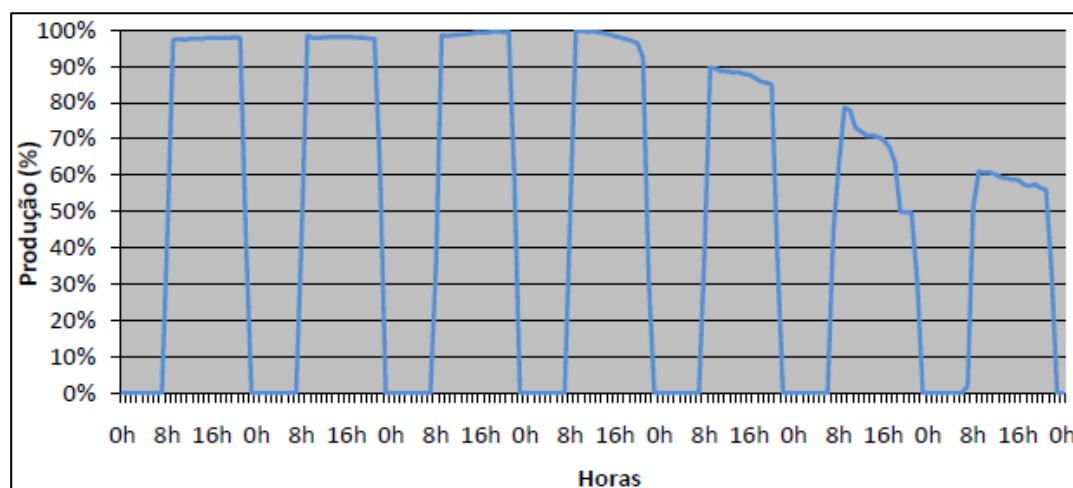


Figura 2.4 - Característica de produção CMH B [15]

Como vemos nas Figuras representativas das características de produção das centrais A e B, existem diferentes casos de estratégia de produção. Existem promotores que preferem aumentar o tempo de produção contínua, necessitando para isso de perder alguns aspetos no caso da central A. A maior continuidade de produção contrabalança com a diminuição do número de horas de produção em determinados pontos de alto rendimento a nível económico. Por outro lado, no caso da central B apesar da decisão de privilegiar a continuidade da produção, é necessário contrabalançar com a diminuição da produção em algumas das horas.

Assim, como podemos verificar, a forma como é gerida a produção é uma das formas de modificar os valores monetários através dos quais são remuneradas as centrais. Esta deve

estar sempre presente nestas escolhas estratégias limites de produção a nível de quantidade de água disponível, questões técnicas de operação e manutenção das centrais

2.2 - Produção em Regime Especial

Em Portugal, a Produção em regime especial é uma atividade ao abrigo de regimes jurídicos especiais adotando políticas destinadas a incentivar a produção de eletricidade. Estes utilizam recursos endógenos renováveis ou tecnologias de produção de calor e eletricidade combinadas com base em resíduos, assim como com base em recursos hídricos para centrais até 10MVA e nalguns casos até 30MW. Este conjunto inclui claramente as CMH. A produção destas centrais é comprada em regime de exclusividade e obrigatoriedade pelo comercializador de último recurso e é remunerada de acordo com o estabelecido em diplomas específicos aprovados pelo governo. [18]

Em Portugal no ano 2011 havia já 455 MW de potência instalada em centrais mini hídricas prevendo-se um aumento até 500MW em 2016. [19]

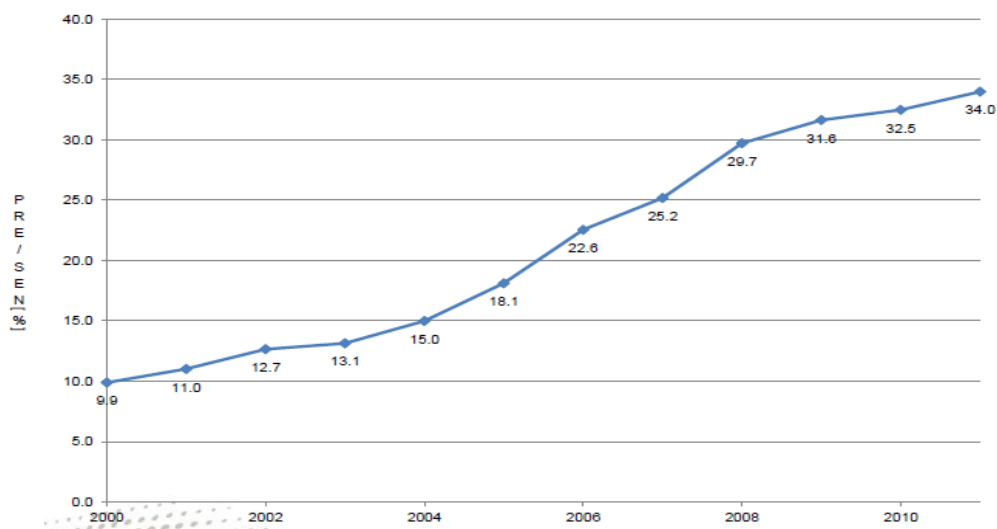


Figura 2.5 - Evolução da PRE no SEN [20]

Na Figura 2.6 podemos ver então a importância que tem vindo a assumir a produção em regime especial no sistema elétrico nacional.

Com os incentivos impressos pelo governo sob forma de remunerações incentivada, este tipo de produção tem-se revelado o sector com uma evolução muito significativa nos últimos anos.

A introdução deste tipo de energia com carácter disperso possibilita a sustentabilidade e um princípio de independência dos combustíveis fósseis, um respeito pelo meio ambiente, uma diminuição de perdas nas redes de transporte e uma maior fiabilidade em caso de falha das mesmas. Tudo isto, beneficia uma produção mais próxima do consumidor.

É necessário por parte da entidade reguladora do sistema elétrico um controlo da PRE, de forma que num futuro seja possível uma confiabilidade nestas formas de energia, dada a sua já elevada percentagem ocupada no diagrama de cargas.

2.3 - Mercado de eletricidade

Inicialmente a atividade associada à produção e comercialização de energia elétrica funcionava como um monopólio, em que, a empresa responsável por este tipo de energia era dona de toda a estrutura desde a produção até a venda ao consumidor final. Isto tornava impossível escolher o fornecedor de energia e o planeamento era feito a nível de central e das cargas necessárias a alimentar. Sendo a variação diminuta, os tarifários eram acordados a nível de entidades governamentais e não havia qualquer tipo de regulamentação, passando por cima de qualquer tipo de princípio de qualidade de serviço, envolvendo apenas custos e proveitos da entidade monopolizadora.[21]

Com o aparecimento de crises petrolíferas, aumentos súbitos das inflações, elevadas taxas de juro, associado a uma maior dificuldade de previsão dos consumos e preocupações ambientais e a liberalização do comércio internacional, conduziu a uma grande mudança neste regime, não só a nível da eletricidade, mas de muitos outros mercados existentes. Esta série de acontecimentos está na origem da nova estrutura desverticalizada em que os monopólios já não existem. O que existe agora é uma comunicação e negociação entre as unidades produtoras e as entidades comercializadoras que vendem a energia posteriormente a consumidores finais.

É criada assim, uma entidade, que estabelece relações entre as empresas de produção de energia e os comercializadores. Esta está encarregada de executar despachos centralizados baseados em propostas de compra e venda, acabando também, por assegurar o relacionamento comercial entre a produção e a carga.

Duma forma geral, e mais interligado com o trabalho realizado, podemos dizer que em primeira instância existe um mercado para o dia seguinte, mercado este, em que são feitas por parte de produção propostas de venda que correspondem ao mínimo preço a pagar a quantidade de energia disponível. Por parte das empresas distribuidoras, comercializadores e clientes elegíveis, existe uma proposta de compra que incorpora preço máximo que estas estão dispostas a pagar e a quantidade pretendida. Com os dados deixados por ambas os lados do mercado, o agente de mercado ordena as propostas e realiza um despacho centralizado baseado em preços. O cruzamento das curvas das vendas com as curvas da oferta estabelecem o preço de mercado para cada hora e todos os intervenientes no mercado realizam as trocas comerciais através deste valor estabelecido, que representa o preço a que da última central é despachada. [21]

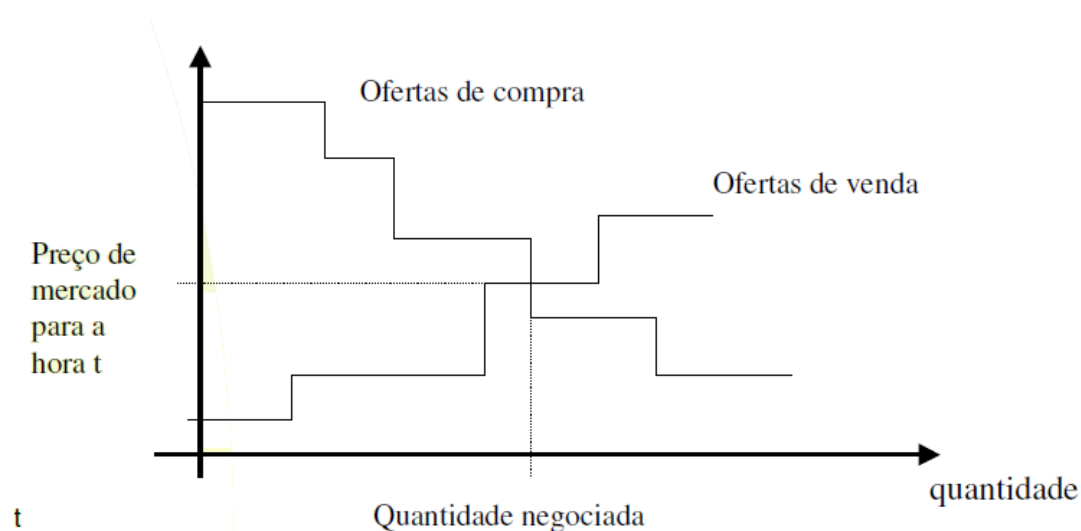


Figura 2.6 - Mercado Pool [21]

Os preços lançados como ofertas de venda refletem normalmente os custos marginais de exploração e manutenção que representa um valor no qual as centrais não vão ter lucro, mas são sustentáveis. A utilização destes preços aumenta a probabilidade de esta ser despachada acabando assim, por obter lucro correspondente à diferença entre o preço de mercado e o valor por estas oferecidas, exceto a central que define o preço, a última central a ser despachada. [22]

Todos estes pressupostos são assumidos para todas as centrais em regime normal, são essas todas aquelas que geram energia através de combustíveis fósseis, somando a estas também as centrais hídricas de grandes dimensões. Assim todas as outras centrais de produção de energia ditas em regime especial, não vão a mercado.

Com a mudança de paradigma e o aparecimento da definição de produção distribuída e as questões ambientais, que hoje em dia exercem pressões sobre as organizações governamentais, foi necessário adaptar o mercado a centrais um pouco diferentes das convencionais. Estas foram denominadas centrais de produção em regime especial, que são por norma centrais de pequenas dimensões cuja principal característica é a sua localização mais próxima dos locais de consumo energético e a sua característica de aproveitamento de resíduos e fontes de energia renovável. Dadas as características das mesmas, que permitem poupanças a nível de combustíveis fósseis, menores perdas nas linhas de transporte e proteção do meio ambiente, juntamente com normas europeias apelam a uma maior racionalização das fontes de energia, criando-se um regime de tarifa paralelo ao mercado de eletricidade. Apesar da energia de produção em regime especial não entrar no mercado, acaba por exercer influência. Salienta-se que toda a energia produzida por estas fontes deve ser comprada pelo comercializador de último recurso, sendo posteriormente englobadas no mercado, acabando por diminuir as necessidades energéticas que regem as ofertas que vão a mercado e consequentemente as centrais mais baratas acabam por ser despachadas, deixando centrais normalmente marginais, fora do despacho, resultando assim, uma diminuição no preço de mercado. [22]

2.4 - Aquisição de Energia

Como foi descrito acima, apesar das centrais de produção em regime especial, nas quais se incluem as CMH objeto de estudo neste trabalho não serem incluídas diretamente no mercado de eletricidade, acabam influenciar os preços de mercado. Isto acontece através da entidade denominada como comercializador de ultimo recurso, presente no Decreto-lei nº 172/2006 de 23 de Agosto, estando responsável por garantir o abastecimento de elétrica a preços razoáveis, comprováveis e transparentes, bem como adquirir toda a energia produzida pelas unidades de produção em regime especial. [2]

A entidade reguladora do sistema elétrico é por sua vez responsável no início de cada ano fixar o valor estimado para aquisição de eletricidade a aplicar na definição das tarifas do CUR. O valor de tarifa de eletricidade pago aos produtores de regime especial é aproximadamente constante ao longo de todo ano. Sabemos que é algo que não acontece com o preço de mercado, pois este é altamente flutuante. Posteriormente, o comercializador vende a energia comprada aos produtores de regime especial ao preço de mercado, acabando por ser criada uma folga entre o valor pago pela energia e o valor a que esta é vendida. A diferença entre os custos reais de aquisição de energia aos produtores de regime especial e o valor de referência utilizado é recuperado através da tarifa de uso global do sistema, que é transportada ao longo da cadeia de valor do sector elétrico.

Assim, o que acaba por acontecer é existir um mediador CUR que compra energia ao preço fixado pela entidade reguladora e vende ao preço de mercado. O valor diferenciador entre o valor de compra e o valor de venda é pago por todos os consumidores através de parte da taxa de uso global do sistema.

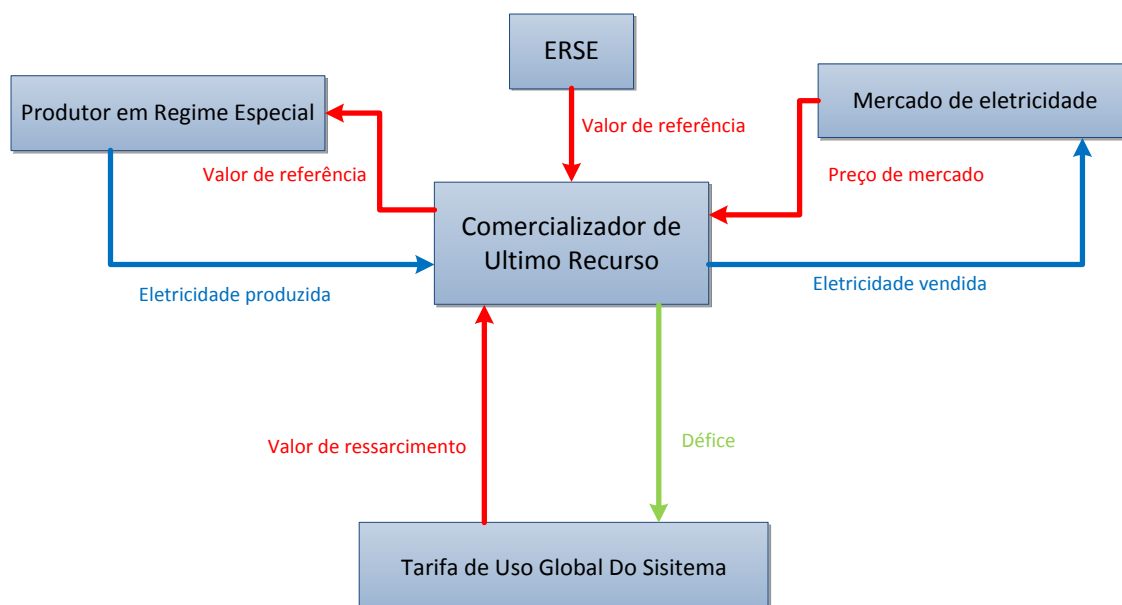


Figura 2.7 - Diagrama de funcionamento da aquisição de energia ao PRE

O diagrama da Figura 2.8 esquematiza o funcionamento descrito. A formatação vermelha simboliza o fluxo económico de valores, a azul o fluxo energético e a verde um simples fluxo de informação. O fluxo a azul é facilmente perceptível, tratando-se da energia produzida em regime especial, que é toda adquirida e posteriormente vendida em mercado, pelo comercializador de último recurso ao preço de mercado. No fluxo a vermelho o valor de referência representa o valor de tarifa no regime atualmente em vigor, o ressarcimento recebido pelo CUR por parte da TUGS, representa então a diferença entre o valor pago pela energia renovável e o preço a que está vendida. Quanto ao fluxo a verde representa a indicação do valor de ressarcimento e acaba por ser um indicador do valor a receber pelas centrais colmatando o défice entre o valor da tarifa e o valor recebido pelo mercado.

2.5 - Regime de tarifa

As centrais que produzem energia em regime especial não entram para o mercado, sendo estas remuneradas através de tarifas reguladas. Este tipo de unidades de geração de energia não são por si só competitivas, e por norma não despacháveis, não são assim feitas ofertas ao preço marginal em mercado. Assim, estas tarifas não refletem somente a produção da energia que não é realizada em centrais convencionais, mas ainda, refletem outros fatores que seguidamente serão apresentados. Associando então estes fatores adicionais, estes pequenos sistemas de geração de energia tornam-se investimentos apetecíveis, no entanto aumentam o valor dos preços de eletricidade a nível dos consumidores finais. [3,23]

Para as instalações, designadas por centrais renováveis ao abrigo dos Decreto-Lei nº 189/88 de 27 de Maio e Decreto-lei nº 312/2001 de 10 de Dezembro, designadas por centrais renováveis, a remuneração pela entrega de energia elétrica à rede é calculada pela seguinte fórmula:

$$VRD_m = \{KMHO_m \cdot [PF(VRD)_m + PV(VRD)_m] + PA(VRD)_m \cdot Z\} \cdot \frac{IPC_{m-1}}{IPC_{ref}} \cdot \frac{1}{1 - LEV} \quad (2-1)$$

- VRD_m - é a remuneração aplicável a centrais renováveis, no mês m.
- $KMHO_m$ é um coeficiente facultativo, que modula os valores de $PV(VRD)_m$ e de $PF(VRD)_m$ em função do posto horário em que a energia tenha sido fornecida.
- $PF(VRD)_m$ é a parcela fixa da remuneração aplicável a centrais renováveis, no mês m.
- $PV(VRD)_m$ é a parcela variável de remuneração aplicável a centrais renováveis, no mês m.
- $PA(VRD)_m$ é a parcela ambiental da remuneração aplicável a centrais renováveis no mês m.
- Z é o coeficiente adimensional que traduz as características específicas do recurso endógeno e da tecnologia utilizada na instalação licenciada.
- IPC_{m-1} representa o índice de preços no consumidor, sem habitação, no continente no mês anterior ao vigente.
- IPC_{ref} representa o índice de preços no consumidor sem habitação no mês de referência.

- LEV representa as perdas, nas redes de transporte e distribuição, evitadas pela central renovável

É importante referir que no caso do coeficiente KMHO, é possível decidir, no ato de licenciamento se optam ou não pela modulação traduzida pelo mesmo, no entanto no caso particular que estamos a tratar, estão obrigadas a incluir este coeficiente.

Para as centrais que optarem pela modulação tarifária, este será por sua vez calculado pela seguinte fórmula:

$$KMHO = KMHO_{pc} \cdot ECR_{pc,m} + KMHO_v \cdot \frac{ECR_{v,m}}{ECR_m} \quad (2-2)$$

Sendo:

- $KMOH_{pc}$ um fator que representa a modulação correspondente a horas cheias e de ponta, que toma o valor 1,15 para o caso específico das centrais hídricas licenciadas no abrigo do Decreto-lei.
- $ECR_{pc,m}$ é a energia produzida pela central renovável nas horas cheias e de ponta do mês m, expressa em kWh.
- $KMHO_v$ é um factor que representa a modulação correspondente a horas de vazio, e toma o valor de 0,8 para o caso específico das centrais hídricas licenciadas no abrigo do Decreto-lei.
- $ECR_{v,m}$ é a energia produzida pela central renovável nas horas de vazio do mês m, expressa em kWh.
- ECR_m é a energia total produzida pela central renovável no mês m, expressa em kWh.

Admite-se para a determinação dos valores da fórmula anterior que:

No período de inverno, as horas de vazio ocorrem entre as 0 e as 8 h e entre as 22 h e as 24 h, sendo as restantes horas do dia associadas a horas de ponta ou horas cheias.

No período de verão, as horas de vazio ocorrem entre as 0 e as 9 h e entre as 23 e as 24 h, sendo também as restantes horas do dia associadas a horas de ponta ou horas cheias.

O valor de $PF(VRD)_m$, é calculado através da fórmula seguinte:

$$PF(VRD)_m = PF(U)_{ref} \cdot COEF_{pot,m} \cdot POT_{med,m} \quad (2-3)$$

Sendo:

- $PF(U)_{ref}$ o valor unitário de referência para este cálculo, tendo que corresponder ao custo unitário de investimento nos novos meios de produção cuja construção é evitada por uma central renovável que assegure o mesmo nível de garantia de potencia que seria proporcionado por esses novos meios de produção. Toma o valor de 5,33€/mês.
- $COEF_{pot,m}$ um coeficiente adimensional que traduz a contribuição da central renovável, no mês m , para a garantia da potência proporcionada pela rede pública.
- $POT_{med,m}$ a potencia média disponibilizada pela central renovável à rede publica no mês m , expressa em kW.

Sendo que estas duas últimas constantes são calculadas pelas seguintes fórmulas:

$$COEF_{pot,m} = \frac{NHP_{ref,m}}{NHO_{ref,m}} = \frac{\frac{ECR_m}{POT_{dec}}}{0,80 \cdot 24 \cdot NDM_m} = \frac{ERC_m}{576 \cdot POT_{dec}} \quad (2-4)$$

$$POT_{med,m} = \min(POT_{dec}; \frac{ERC_m}{24 \cdot NMD_m}) \quad (2-5)$$

Sendo por sua vez :

- $NHP_{ref,m}$ o número de horas que a central renovável funcionou à potência de referência no mês m , no qual é avaliado pelo quociente da energia produzida pela central no mês m .
- POT_{dec} . a potência declarada pela central.
- $NHO_{ref,m}$ o número de horas que servem de referência para o cálculo do coeficiente, no mês m , dado por $0,8 \cdot 24 \cdot NDM_m$ (número de dias do mês m).

De seguida apresenta-se a fórmula correspondente ao cálculo da parcela variável da valorização aplicável.

$$PV(VRD)_m = PV(U)_{ref} \cdot ECR_m \quad (2-6)$$

Sendo $PV(U)_{ref}$ o valor de referencia, que corresponde aos custos de manutenção e operação que seriam necessários à exploração dos novos meios de produção cuja construção é evitada pela central renovável, correspondente a 0,036 €/kWh.

No caso da parcela ambiental a formula que a permite calcular é um pouco mais complexa:

$$PA(VRD)_m = ECE(U)_{ref} \cdot CCR_{ref} \cdot RCR_m \quad (2-7)$$

Em que:

- $ECE(U)_{ref}$ é o valor unitário de referencia para emissões de CO2 evitadas pela central renovável, devendo corresponder a uma valorização unitária do dióxido de carbono que seria emitido pelos novos meios de produção, cuja construção é evitada pela central renovável, equivalente a 2×10^{-5} €/g.
- CCR_{ref} é montante unitário das emissões de CO2 da central convencional de referencia que toma o valor de 370g/kWh e será utilizado em cada central de produção em regime especial durante todo o período em que a remuneração seja aplicável.

O valor da majoração ambiental Z, depende da tecnologia como já foi indicado e apresenta os valores fixos da seguinte tabela:

Tabela 2.2 – Majoração Ambiental

Tipo de Produção em Regime Especial	Majoração Ambiental (Z)
Central Eólica	4,6
Central Hídrica com POT _{dec} até 10MW	4,5
Central Hídrica com POT _{dec} 10MW até 30 MW	4,5- (POT _{dec} -10)*0,075
Central Hídrica com POT _{dec} maior que 30 MW	A definir
Instalações de Bombagem	0
Centrais FV c/pot ≤10MW	52
Centrais FV c/ pot > 10MW	35
Solar Termoeletrica c/ pot ≤ 10MW	29,3
Solar termoeletrica c/pot > 10MW	A definir em portaria (15-20)
FV e termoeletrica de microgeração (edifícios) c/pot ≤ 5kW	55
FV e termoeletrica de microgeração (edifícios) c/pot entre 5 e 150 kW	40
Biomassa florestal residual	8,2
Biomassa animal	7,5
Valorização resíduos por digestão anaeróbica, RSU, ETARs e Agrícolas.	9,2
Centrais de valorização de Biogás de aterro	7,5
Valorização Energética de Queima (RSU indiferenciados)	1
Valorização Energética da queima (combustíveis derivados de resíduos)	3,8
Energia das Ondas (de 4 a 20 MW nacional)	28,4
Energia das Ondas (de 20 a 100 MW nacional)	A definir em portaria (16-22)

Por último, apresentamos os valores fixos de remuneração pelas perdas evitadas nas linhas de transporte e distribuição que são representadas pela parcela LEV, que toma os valores, no caso das centrais com potência maior ou igual a 5MW e estabelece-se 0,015, e 0,035 para as restantes.

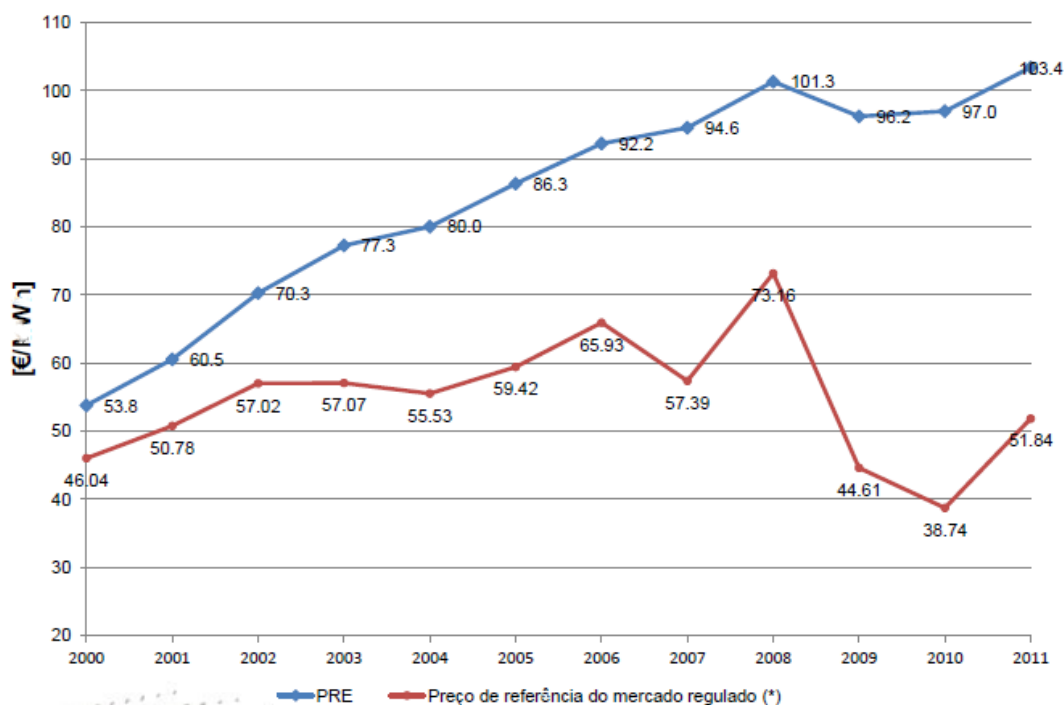


Figura 2.8 - Evolução do preço de Mercado e do valor de tarifa [24]

Como se pode verificar na Figura 2.9, existe uma grande diferença entre os preços de referência do mercado e o preço pago através do regime de tarifa.

2.6 - Conclusão

Os custos de produção das centrais convencionais são mais baixos que os custos de produção das renováveis. Para as centrais incluídas na PRE entrarem em mercado a competir diretamente, teriam de receber abaixo do custo de produção, o que não era viável. O modelo que está a ser pensado para entrar em mercado considera a existência de uma bonificação fixa associada à tecnologia que será somada ao valor horário resultante da venda de energia no mercado. Por outro lado, o valor associado ao pagamento da tarifa que está em vigor hoje em dia, é necessário para conservar a sustentabilidade das centrais.

As centrais eólicas e solares não têm capacidade de regulação e assim sendo, não podem definir ofertas de valores de produção para ir a mercado quando não os podem garantir, o que acaba por não acontecer, no caso das grandes centrais, pois estas têm capacidade de regulação e despacho adquiridas, podendo assim fazer ofertas de produção precisas e fiáveis. No entanto, nem todas as centrais de produção em regime especial são de característica não despachável, sendo o caso das centrais mini-hídricas uma das quais tem capacidade, embora pequena de regulação, podendo sozinhas ou como agregado de várias outras tecnologias, entrar em mercado.

As Centrais mini-hídricas têm a particularidade de poderem, em alguns casos, decidir a hora em que necessitam produzir. Em ambiente de mercado, o valor pago difere de hora para hora dependendo da relação entre oferta e procura, do excesso de produção renovável e do

padrão de consumo. Com o elevado nível de penetração de renováveis existe cada vez mais variabilidade e aleatoriedade na variação dos preços horários resultantes no mercado.

A entrada em mercado ganha especial importância tendo presente a evolução dos valores de tarifa e a diferença entre estes e os valores de mercado, que podemos perceber na Figura 2.9. Esta apresenta, então, a evolução dos preços de mercado e dos valores das tarifas pagas na última década. Apesar de no início do ano 2000 os valores entre o mercado e os pagos em termos de tarifa estarem bastante aproximados nota-se uma evolução dos valores da tarifa muito superior aos valores dos preços de mercado, especialmente a partir do ano de 2008 que ficou marcado pela criação do mercado ibérico de eletricidade (MIBEL), que contribuiu para uma diminuição dos preços de mercado. Em análise aos valores mais atuais verifica-se que o valor pago em regime de tarifa está já em valores que dobram o valor do preço de mercado. Tendo em conta o histórico de evolução de ambos, a tendência será para o aumento levando estas tarifas para valores ainda maiores.

Relembrando que os valores entre o preço de mercado e os valores de tarifa são suportados pela tarifa de uso global do sistema, ou seja, por todos os clientes de baixa tensão torna-se cada vez mais obvio o benefício de passar estas centrais para mercado, de forma a impedir ainda mais o crescimento da tarifa.

Capítulo 3

Caracterização das centrais

3.1 - Escolha das centrais

As mini-hídricas são geralmente centrais de fio de água, mesmo assim, têm capacidade de regulação horária, como se pode verificar na prática nas Figuras 2.1, 2.2 e 2.3. Assim, estas conseguem transferir produção dentro de um intervalo de algumas horas. Neste trabalho admitimos que essa regularização pode ser feita dentro das 24 horas do dia, no entanto, a energia disponível diariamente será a mesma independentemente da opção de regularização. Admitimos que existe capacidade de regularização horária dentro de cada dia, mas não existe capacidade de regularização da energia diária. Com este pressuposto admitimos que o valor diário da produção é um valor que pode ser previsto com vários dias de antecedência, sendo este valor apresentado no eixo horizontal da Figura 3.1. Esta mostra a relação entre a produção horária no eixo vertical e a produção média diária no eixo horizontal.

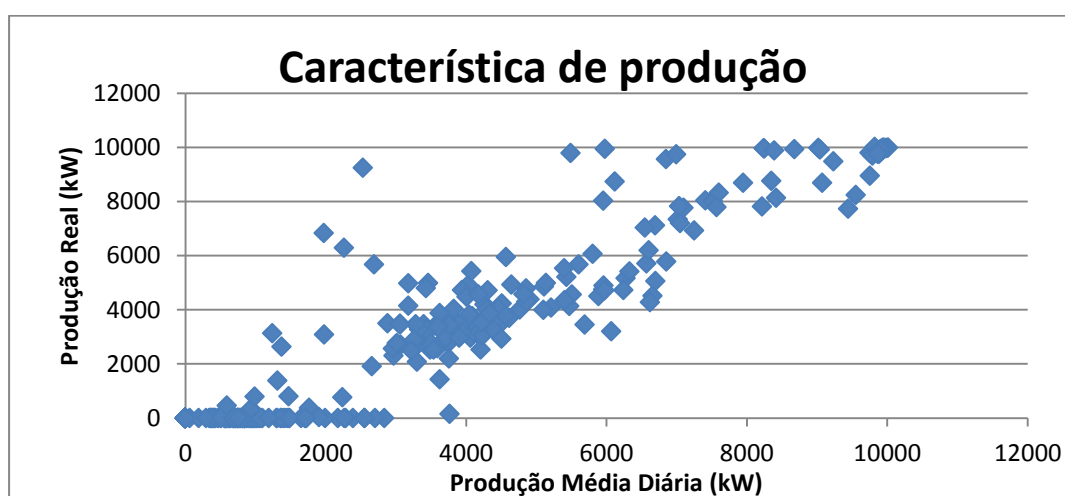


Figura 3.1 - Exemplo de caraterística de produção

Na Figura 3.1 está representada a estratégia da central. Em dias de pouco recurso hídrico a produção média é baixa, tal como a produção horária. Quando o recurso hídrico é muito elevado, também a produção horária será máxima para qualquer hora, tentando evitar-se o desperdício de água; quando o recurso hídrico é intermédio com produção suavizada num ponto médio de produção, existe uma maior flexibilidade de produção horária.

Algumas mini-hídricas têm uma maior flexibilidade de regularização mesmo para valores elevados de recurso, dependendo de uma mais elevada capacidade de armazenamento. Outras mini hídricas têm muito pouca capacidade de regularização e nestes casos a produção horária é muito proporcional ao valor médio de produção diária. A característica de produção da mini hídrica varia muito com o tipo de mini hídrica e pode ser percebida pela forma da nuvem característica apresentada na Figura 3.1. Será com base na perceção matemática desta característica que definiremos os modelos de estratégia de operação de cada mini hídrica.

3.1.1 Procedimento

Admitindo uma distribuição entre a suavização e a produção real obtém-se a nuvem do comportamento das centrais no procedimento adotado. Aproximou-se uma função sigmoide ao valor médio da nuvem a cada momento e espera-se que os valores desta sigam a estratégia de funcionamento da central. Apresentando a função sigmoide para este caso, que se desenvolveu exclusivamente neste mesmo trabalho, podemos perceber melhor como acontece esta aproximação.

$$P_{est,h} = P_{min} + \frac{P_{max} - P_{min}}{1 + e^{-8 \frac{P_{suavisado} - h_c}{h_s}}} \quad (3-1)$$

- $P_{est,h}$ é a produção estimada para cada hora.
- P_{min} é a produção mínima, e representa o valor inicial da sigmoide.
- P_{max} é a produção máxima, e representa o valor do topo da sigmoide.
- h_c é o ponto respetivo do centro da sigmoide segundo o eixo horizontal.
- h_s é a distancia entre o ultimo valor de P_{min} e o primeiro valor de P_{max} .

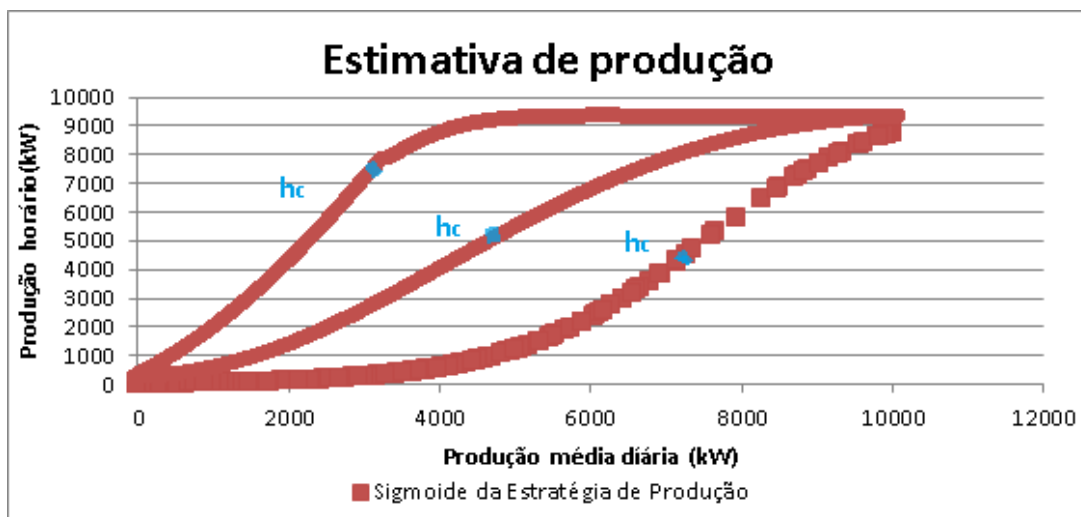


Figura 3.2- Valores tomados por h_c

Na Figura 3.2 pode ver-se 3 exemplos da curva de aproximação sigmoide. São exemplo de 3 diferentes horas referentes à mesma central. Os pontos a azul simbolizam os valores tomados por h_c . Na primeira curva os valores de h_c são mais reduzidos indicando uma produção de energia mais precoce quando comparada às outras duas curvas. A curva do meio diz respeito aos valores de nuvem expostos na Figura 3.3 sendo portanto valores medianos. Por último a terceira curva com um índice h_c mais elevado diz respeito a uma hora do dia em que existe uma inibição da produção.

Na construção da função sigmoide é ajustado para este caso particular um valor mínimo de produção nulo. O valor máximo correspondente ao valor máximo da nuvem, portanto próximo de 10.000, um valor de h_c cerca de 4000, um valor de h_s cerca de 1000 e assim se obtém a seguinte curva que estima a produção.

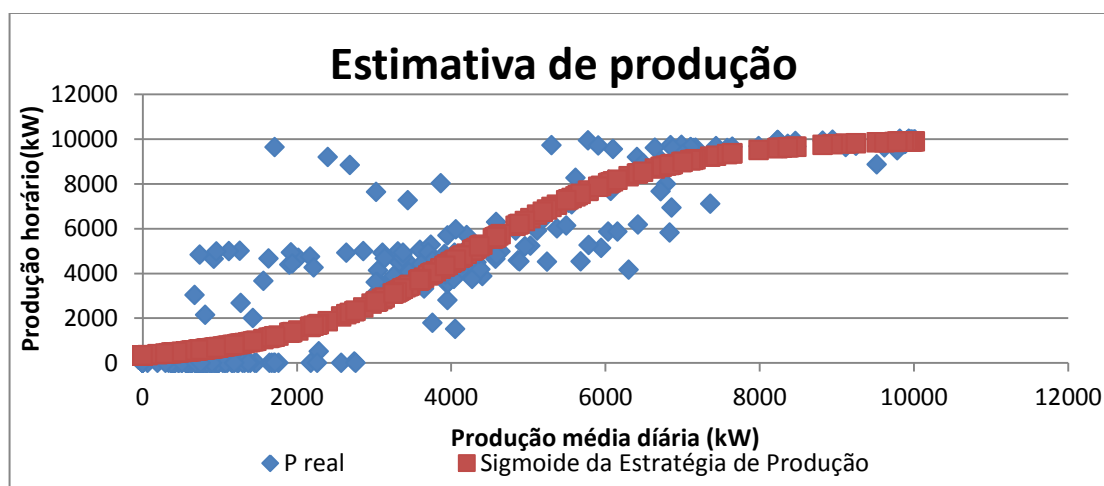


Figura 3.3 - Exemplo de estimativa de produção

No entanto não existe certeza acerca da fiabilidade em torno dos valores desta curva a nível da produção, que é a principal questão. Desta forma, utilizou-se por forma de aumentar a eficácia uma metodologia de aproximação através de uma minimização pelo método dos mínimos quadrados.

A minimização afeta diferença entre os somatórios da produção total e da produção estimada dada pela sigmoide modificando os valores do h_c , mantendo os outros parâmetros fixos. Assim, é possível fazer um ajuste da sigmoide para existirem valores de produção efetivamente próximos, e podermos garantir assim a aproximação correta da produção por parte da função sigmoide. Admite-se que os valores máximos e mínimos são aproximadamente os mesmos para as várias horas do dia, havendo apenas uma variação do valor de h_c , correspondente ao momento em que a central tem a sua produção em funcionamento médio.

$$\text{Min} \left| \sum_{i=0}^k P_{real} - \sum_{i=0}^k P_{est,h} \right| \quad (3-2)$$

$$P_{min} < h_c < P_{max} \quad (3-3)$$

Assim teremos um Figura de variação do valor de h_c para algumas horas do dia o que nos permite caracterizar de uma forma justificada as estratégias das diferentes centrais da nossa base de análise, escolhendo as que apresentam diferentes comportamentos, para uma análise aprofundada, como foi descrito anteriormente.

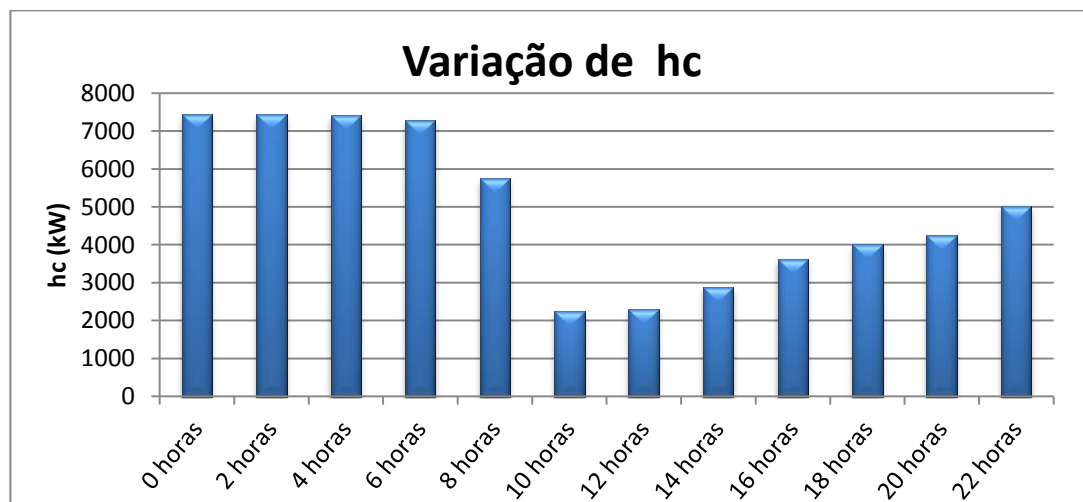


Figura 3.4 - Parâmetro de caracterização

Com a variação deste parâmetro de ajuste poderemos ver qual o funcionamento da central ao longo do dia. A relação entre este parâmetro de ajuste e o funcionamento da central é o seguinte: quanto mais alto for o valor deste parâmetro, menor é a quantidade de produção da central, ou seja, menos energia, esta produz. Verifica-se o inverso quando o valor do parâmetro de ajuste h_c é mais baixo, o valor de produção da central é mais elevado.

Uma vez que se torna confuso analisar a característica das centrais pelo índice h_c , acabamos por introduzir um novo indicador cujo valor deriva da subtração do índice h_c à produção máxima da central. Assim sendo, podemos relacionar os aumentos deste indicador diretamente com aumentos de produção e os valores mais reduzidos com inibição de produção por parte da central. Apresenta-se de seguida então as Figuras referentes a este novo indicador que vamos denominar simplesmente como indicador de produção.

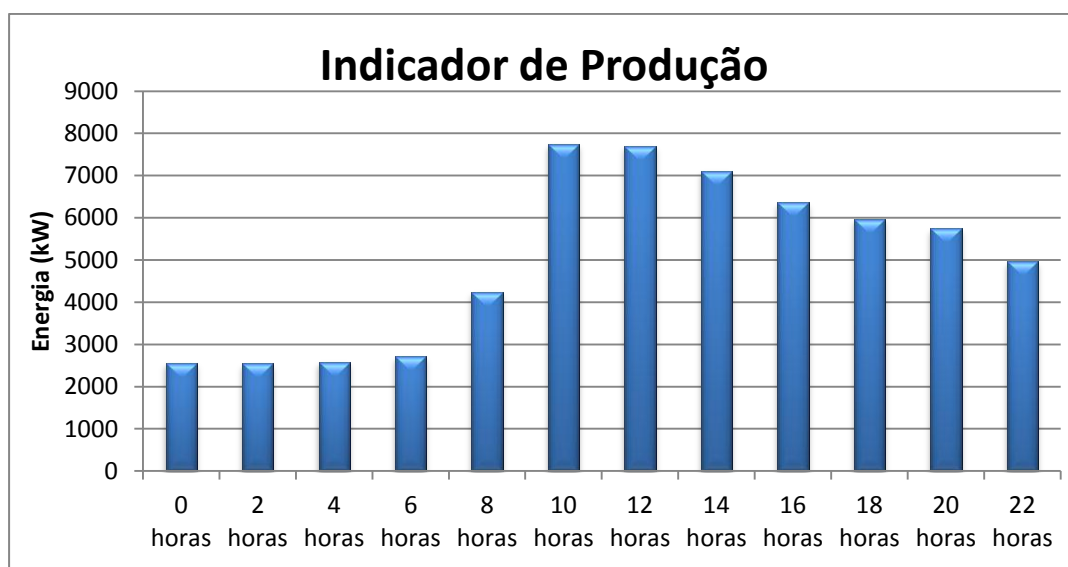


Figura 3.5 - Indicador de Produção

Com os dados representados nestas Figuras juntamente com algumas características já conhecidas de algumas centrais, tornou-se intuitiva a escolha destas.

3.1.2 Característica de funcionamento estudadas

As centrais expostas foram selecionadas com base no procedimento explicado anteriormente e de seguida é ilustrada a variação do indicador de produção criado que caracteriza o funcionamento diário de cada uma das centrais escolhidas. É também associado à Figura ilustrativa algumas informações características básicas conhecidas das referentes centrais.

Central Mini hídrica 1 (CMH1), é uma central de fio da água com açude, uma potência instalada de 4,4 MW.

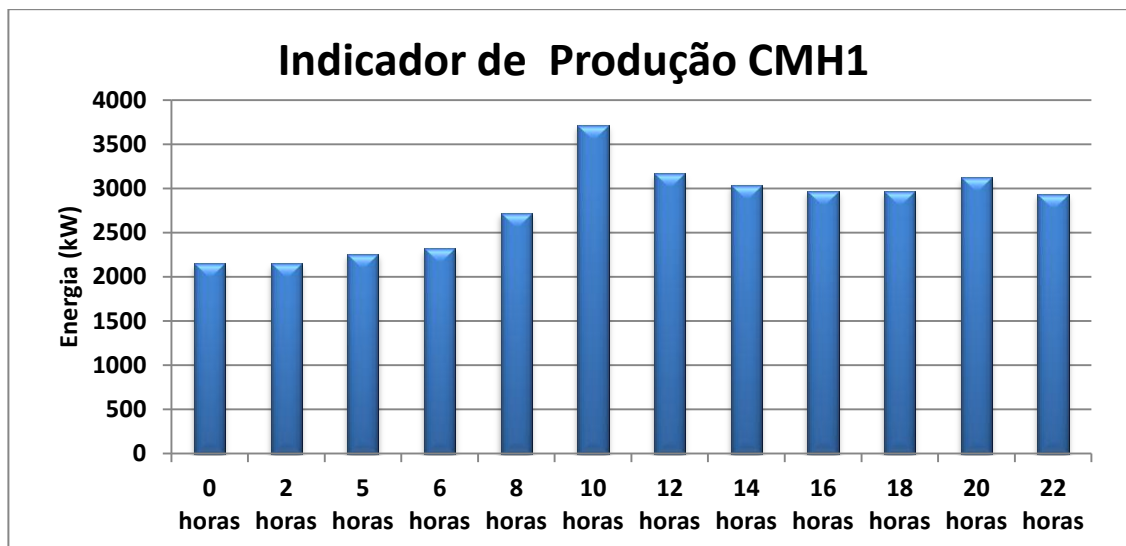


Figura 3.6 - Indicador de Produção CMH 1

Como se verifica, este aproveitamento foca o seu funcionamento nas horas de ponta, uma vez que, para o regime de remuneração atualmente em vigor são as horas mais vantajosas. Analisando as horas de forma mais pormenorizada, denota-se que nas 10 horas se dá o ponto alto de produção em que a central produz logo desde o início da hora e diminui nas horas seguintes proporcionalmente à produção. Às vinte horas tem um pico de produção que pode ser explicado pelo receio em possuir água em demasia no reservatório e com a hipótese de ter que desperdiçar a água, assim, prefere produzir um pouco mais antes do fim do cenário de ponta. Vemos então, que esta central tem capacidade de regulação diária como se confirma com os dados acima revelados.

Central Mini hídrica 2 (CMH2), é uma central de fio de água sem açude, com uma potência instalada de 1MW.

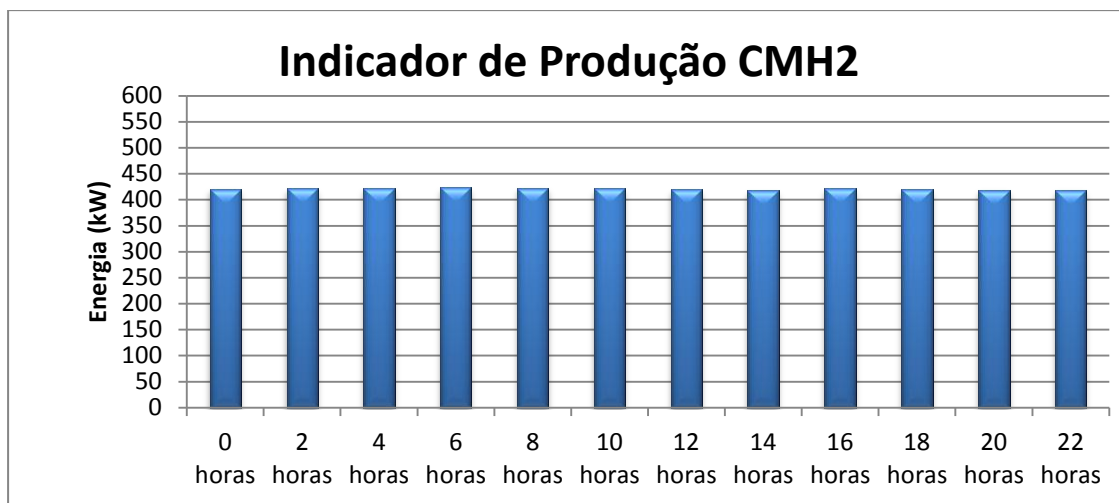


Figura 3.7 - Característica CMH 2

Neste segundo caso, observa-se que a central tem um comportamento de indiferença relativamente às horas do dia, não tem qualquer estratégia horária de produção, ou seja, produz sempre a mesma quantidade de energia nas várias horas e no decorrer dos cenários de ponta e de vazio. Assim, não tem capacidade de regulação, ou então não faz uso da capacidade de regulação que tem.

Central Mini hídrica 3 (CMH3), é uma central de fio da água com uma potência de 0,8 MW, portanto relativamente baixa.

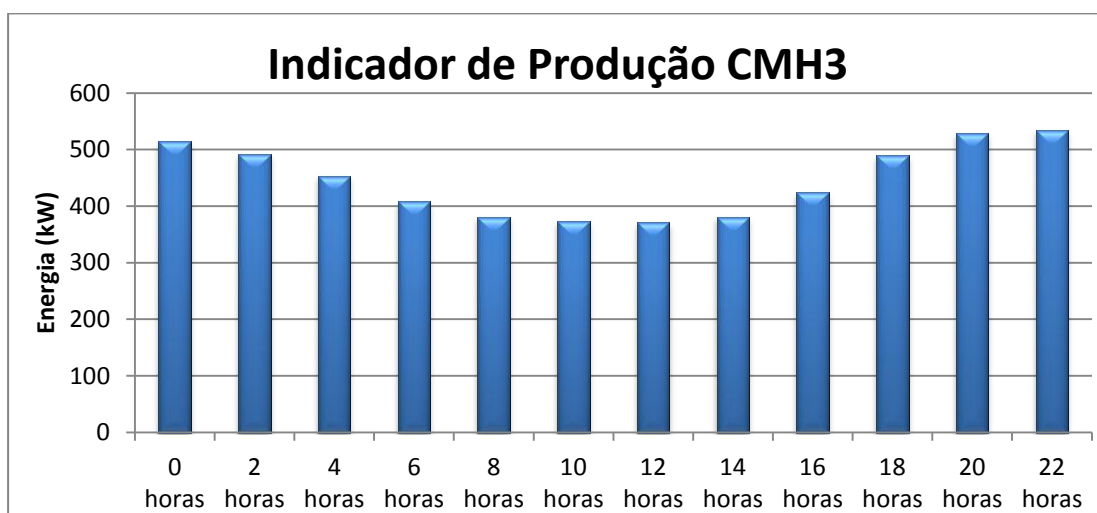


Figura 3.8 - Característica CMH 3

Esta central apresenta capacidade de regulação, uma vez que existem horas em que a produção é mais intensiva do que outras. No entanto, sabe-se que esta está associada a uma fábrica e sendo uma fábrica ligada à indústria têxtil necessita de água durante o dia, embora durante a noite aproveite a água excedente para produzir energia elétrica.

Central Mini hídrica 4 (CMH4), é uma central de fio de água com uma potência instalada de 10 MW.

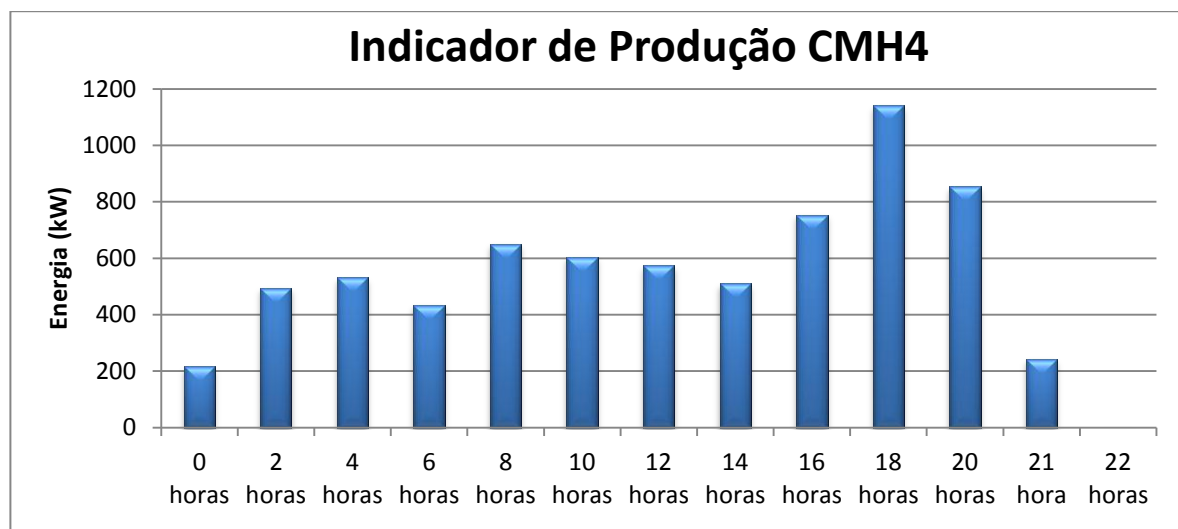


Figura 3.9 - Característica CMH 4

No caso da CMH4 como se verifica com apoio da Figura 3.8, as horas a que a central menos produz acabam por ser as horas de ponta dando uma certa ideia de regularização. No entanto, percebe-se que a diferença entre algumas horas de ponta e de vazio não é muito significativa. A razão explicativa é a baixa capacidade de acumulação de água, tendo em conta o volume de produção da central, apesar de esta conseguir juntar água nas quatro primeiras horas de vazio, acaba por ter que turbinar nas restantes.

Central Mini hídrica 5 (CMH5), é uma central de fio de água com duas turbinas, e uma potência instalada de 10 MW.

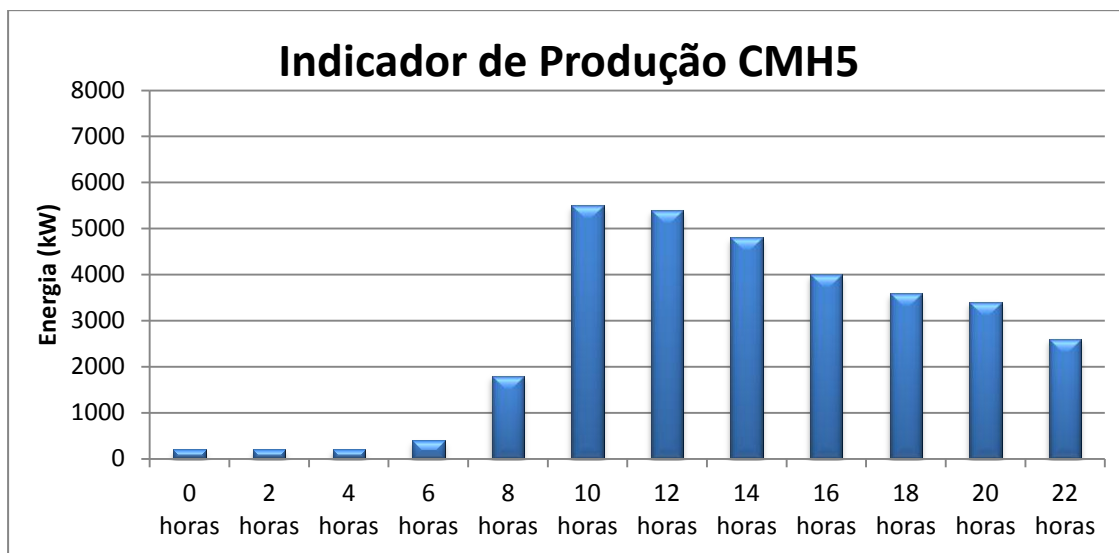


Figura 3.10 - Característica CMH 5

Por último, a central mini hídrica 5, que apesar de apresentar o mesmo grau de potência instalada, nota-se que tem uma maior capacidade de acumulação de energia, sob forma de água a montante da central, ou seja, uma maior regularização produzindo quantidades de energia nas horas de ponta superiores quando comparadas com as horas de vazio.

Percebe-se na característica desta central, uma estratégia bastante afinada para o regime de ressarcimento atual, no qual, se recebe mais nas horas de ponta em detrimento das horas correspondentes ao cenário de vazio.

3.2 - Limites de funcionamento das centrais

3.2.1 Introdução

Para a realização de qualquer tipo de modificação na estratégia de funcionamento das centrais é necessário ter em conta que os resultados provenientes destas novas estratégias serão comparados com a estratégia atual, e dessa forma é necessário garantir a fidelidade destes indicadores de produção para refletirem situações o mais aproximadas da realidade possível.

Assim, como já foi explicado inicialmente, para a criação de cenários de produção é necessário ter em conta alguns pressupostos da tecnologia em geral e de cada central em particular.

Como se sabe dentro da gama de aproveitamentos de energia incluídos na produção em regime especial a hídrica é aquela que tem melhor capacidade de acumulação de energia, no caso, sob a forma de água. No entanto, isto tem limites, ou seja, admite-se para este trabalho que todas as centrais incluídas possuem capacidade de regulação diária. A energia produzida em determinado dia pode ser produzida em qualquer hora do dia.

Outro fator importante, agora para as diferentes centrais e diferentes horas, são os limites de produção média que cada central produziu em determinado momento. Através destes, podemos caracterizar uma gama de liberdade de produção para determinada central e assim tomar a liberdade de alocar a produção em determinada hora respeitando os limites, e é esse grau de liberdade que será apresentado de seguida.

3.2.2 Ajuste das linhas de tendência

Os limites de funcionamento foram calculados com auxílio de uma função sigmoide, que foi ajustada por forma a incorrer entre os valores máximos e mínimos da nuvem característica de produção. Como já foi explicado anteriormente esta nuvem é a representação gráfica que relaciona a produção real de uma central com a sua produção suavizada. Para verificação efetiva dos limites será também colocado uma Figura demonstrativa das produções reais e o seguimento dos limites.

Assim tem-se para a primeira central mini-hídrica

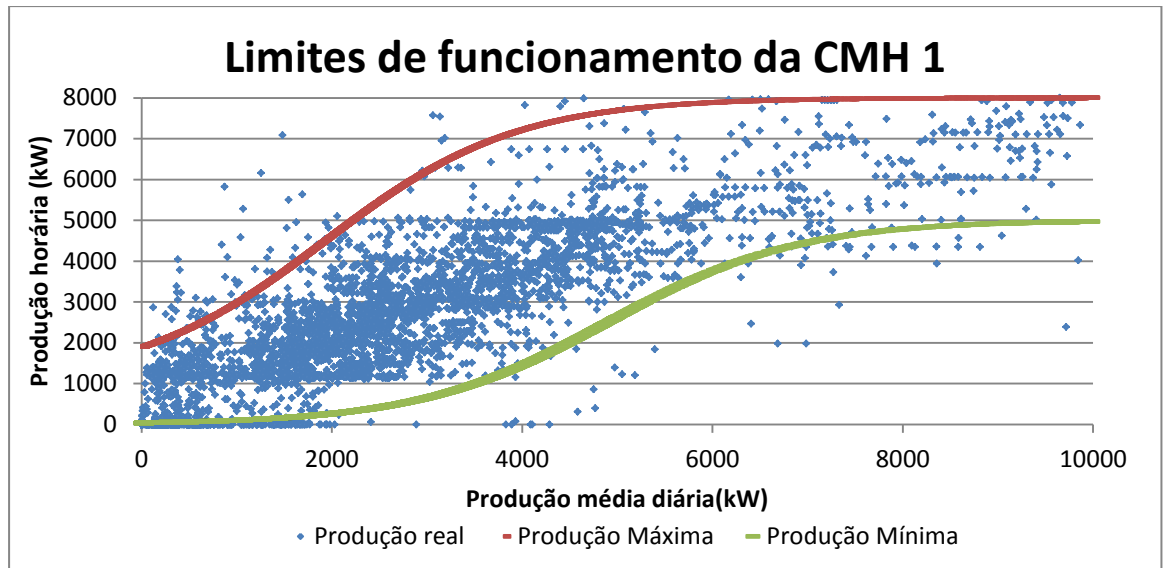


Figura 3.11 - Limites de funcionamento CMH1

O que interessa não é a estratégia atual mas uma nova estratégia, portanto não interessa o valor central que tipifica a estratégia, mas sim, a gama de variação de produção horária que poderemos ter num determinado dia para uma produção média diária. Esta gama pode ser caracterizada através de uma curva de um limite mínimo de produção e uma curva de limite máximo de produção. A curva de limite mínimo de produção define o valor mínimo de produção para cada valor de produção média diária; a curva máxima define o valor máximo de produção também para cada valor médio de produção diária. A otimização da produção em determinada hora deverá manter-se dentro destes limites. Que na prática são impostos pelas características da mini hídrica. Este significado pode alargar-se a todos as figuras dos limites nesta secção.

Temos então, como mostra a Figura 3.11 uma gama de produção entre a sigmoide a verde e a sigmoide a vermelho que permite uma liberdade de produção nesta gama de valores formando uma das restrições para a definição de uma nova estratégia de produção para esta central em particular. Assim, teremos na Figura 3.11 a demonstração da produção real entre os valores máximos e mínimos de produção em cada hora.

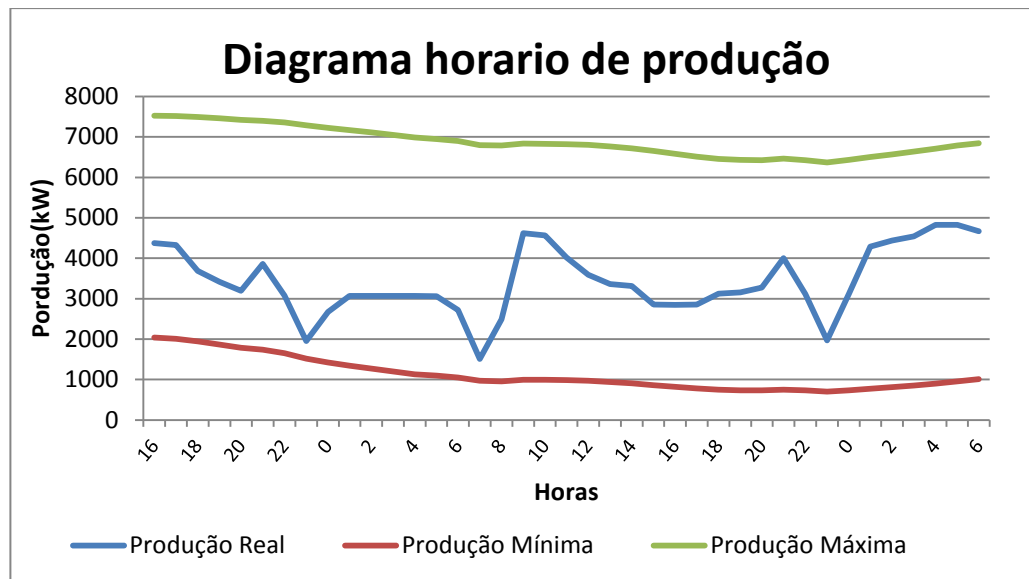


Figura 3.12 - Diagrama horário de produção CMH1

Como podemos ver pelas folgas entre os valores da produção real e os limites, existe uma grande liberdade na escolha da estratégia de operação, neste caso particular.

Para a segunda mini-hídrica temos as seguintes linhas de tendências.

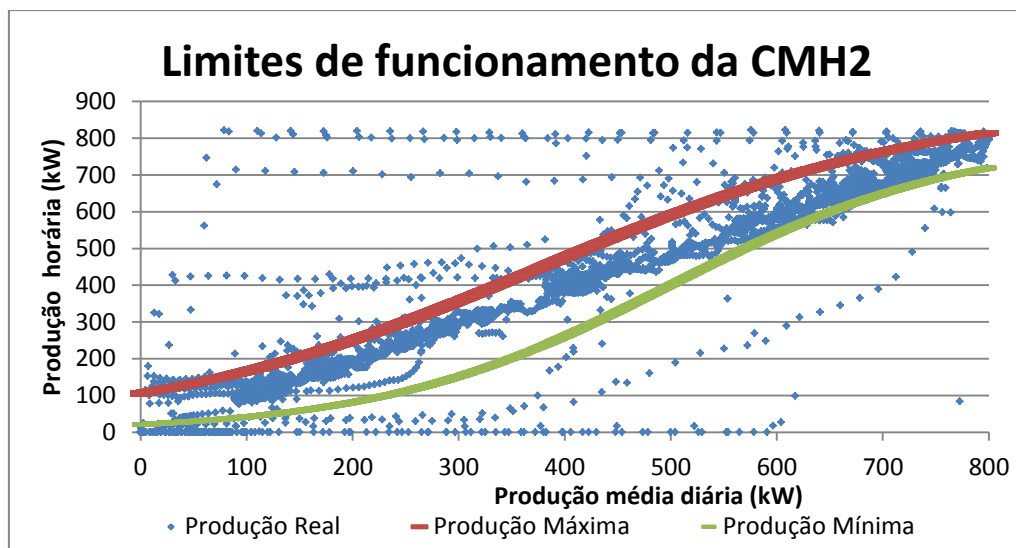


Figura 3.13 - Limites de funcionamento CMH2

Na Figura 3.13 é perceptível que foi necessário ignorar alguns pontos de produção que se distanciam da função principal dado a característica da central. O caso em análise apresenta funcionamento pouco flexível e portanto com uma baixa margem para regulação. Sendo que, os valores de folga são bem mais reduzidos comparativamente com os casos anteriores. No entanto, ainda existente, possibilitando um pequeno ajuste. Percebe-se à primeira vista que a reta da produção mínima, para os valores mais altos da produção suavizada, não segue exatamente a nuvem característica. Contudo, isto foi necessário para que fosse possível juntar os valores mais baixos da produção suavizada que se apresentam com valor nulo.

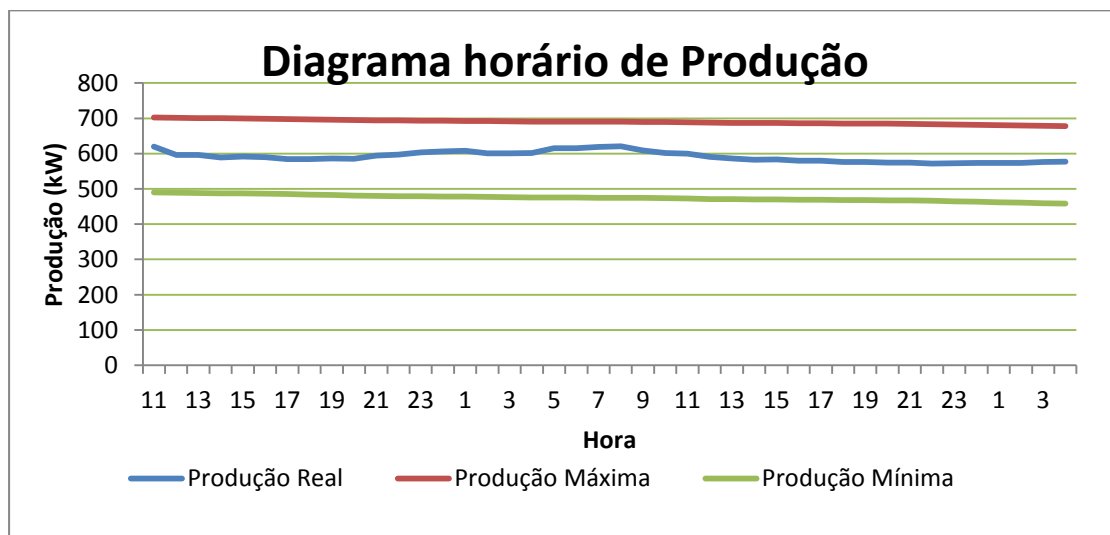


Figura 3.14 - Diagrama horário de produção CMH2

Como se pode verificar pela linha da produção real, esta tem um carácter contínuo e muito pouco variável. Como foi demonstrado na característica desta central, isto reflete-se numa produção estática ao longo de todo o dia. Com isto, confere-se a nuvem característica de produção da Figura 3.14, em que a produção real é diretamente dependente da produção

suavizada, ou seja, quase simétricas, refletindo-se num comportamento real aproximado a um comportamento médio de qualquer uma das outras centrais.

O diagrama da Figura 3.14 possibilita também observar com mais clareza a possibilidade de ajuste. Temos neste caso uma folga de 100 kW para ambos os lados, que pode ser aproveitada otimizando a produção para uma qualquer necessidade. No entanto, comparativamente ao caso anterior existe uma margem bem mais reduzida de manobra como já era perceptível na Figura 3.13.

Passando agora à análise da seguinte CMH.

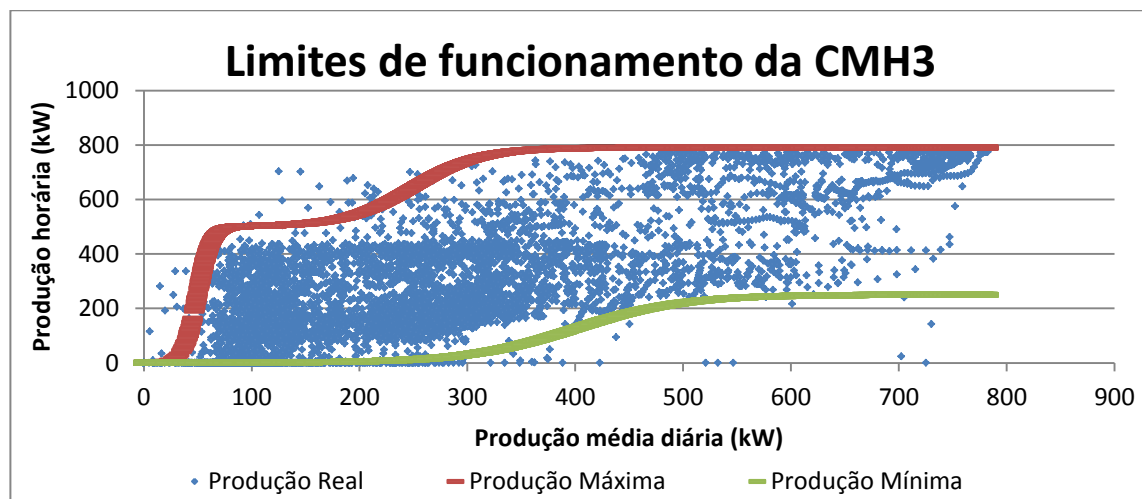


Figura 3.15 - Limites de funcionamento CMH3

No caso particular da central mini-hídrica caracterizada na Figura 3.15, verifica-se que a central tem uma produção bastante flexível podendo estar no mesmo instante de tempo em valores bastante diferentes. Possibilita, deste modo, na sua gama de produções, uma liberdade de escolha retratada como regulação muito elevada, apesar da sua baixa capacidade de regulação, que foi retratado na caracterização das centrais e que acaba por ser suficiente para os níveis de produção realizados

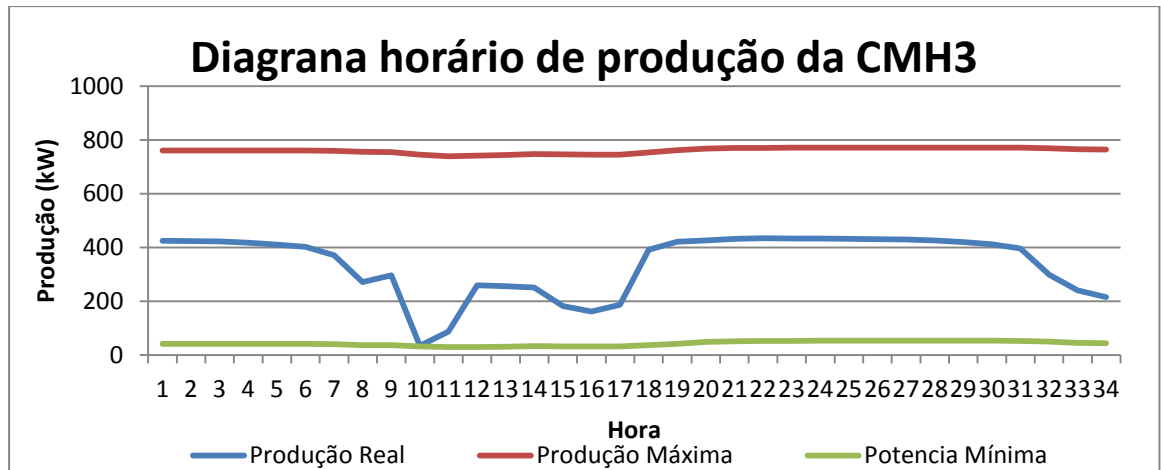


Figura 3.16 - Diagrama horário de produção CMH3

Complementando a Figura 3.15, a Figura 3.16 demonstra, num caso particular, a capacidade em termos de flexibilidade a nível de produção da central, que ronda os 400 kW em grande parte das horas retratadas. Esta central representa, em primeira análise, um bom caso para qualquer estratégia que se necessite de implementar. No entanto, há que ter em conta que esta central, como já referido, está inserida numa indústria. Assim, a nossa estratégia terá que entrar com as prioridades definidas pelo promotor, prioridades estas que não são possíveis de prever. Deste modo, esta seria uma das centrais do parque nacional, que não deveria ser incluída, numa otimização da estratégia para a introdução em mercado.

Analisando os limites associados a penúltima central utilizada.

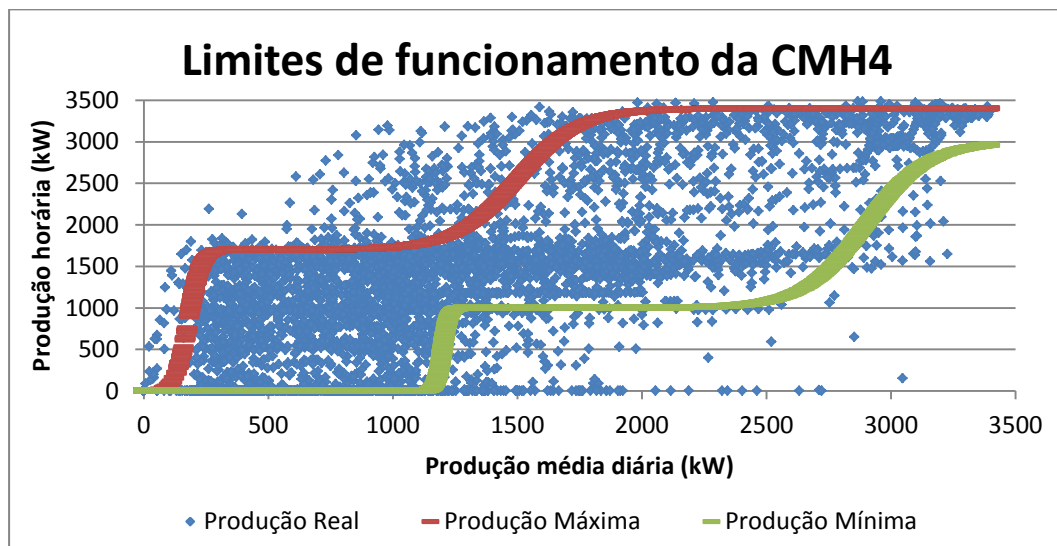


Figura 3.17 - Limites de funcionamento CMH4

A central que agora se analisa, tendo em conta a sua potência instalada, apresenta uma característica de produção um pouco restrita. No entanto, inserida nesta gama de produção a central demonstra alguma capacidade de regulação e facilidade de manobra relativamente a

possíveis estratégias a tomar. Esta pode dividir-se nitidamente em dois patamares definidos pelo recorte da função. Estes patamares correspondem a duas turbinas, que até cerca de 1200 kW de produção, apenas é utilizada a primeira e seguidamente são utilizadas as duas centrais. Convém referir que uma delas se fixa no valor máximo de produção. A gama de ajuste com que poderemos contar será sempre na ordem dos 1500 kW em qualquer das fases de funcionamento da central, apresentando-se assim, como um caso em que existiria facilidade em implementar uma otimização da estratégia de produção.

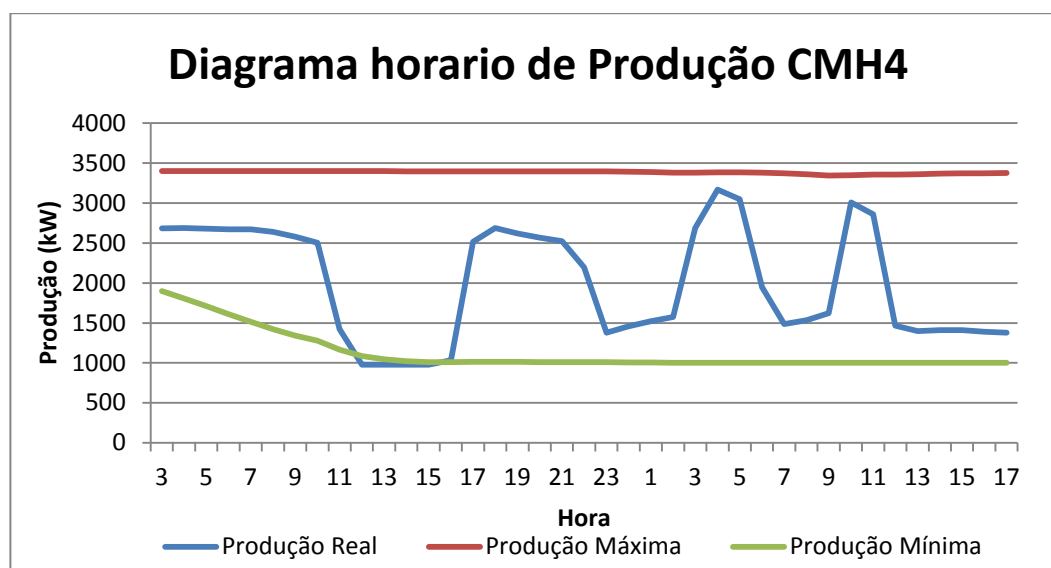


Figura 3.18 - Diagrama horário de produção CMH4

Como se pode perceber a Figura 3.18, o gráfico representa o segundo patamar de funcionamento da central. Neste caso, a central pode variar a sua produção entre os 1500 e 3500 kW sem qualquer tipo de problema, o que se pode verificar não só pelos limites, mas também pelo comportamento da função da produção real, ou seja, a estratégia atual. Nota-se que nas primeiras horas se regista um valor mínimo que não está coberto pela linha de potência mínima, e isto deve-se à função sigmoide e de se tratar de uma aproximação que tem incluído um pequeno desvio. Esta central já tem, então, uma estratégia impressa, pelo que será possível integrar outra estratégia conforme as necessidades do promotor ou do sistema elétrico.

Por último seguem-se as Figuras representativas dos limites de funcionamento e diagrama de produção da quinta central mini-hídrica.

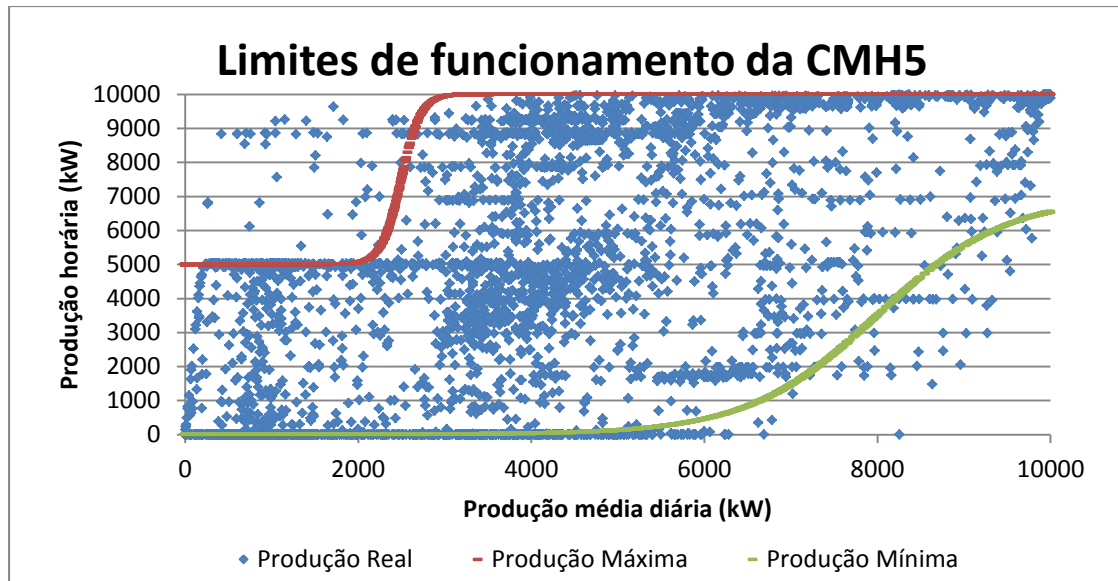


Figura 3.19 - Limites de funcionamento CMH5

Na análise da Figura 3.19 denota-se em primeiro lugar e como já foi descrito anteriormente, um maior volume de produção, colocando-se a produção por diversas vezes perto do limite de potência instalada da central. Nesta central, à semelhança da anterior, denota-se dois diferentes patamares de produção, no entanto não é perceptível se existe ou não mais que uma turbina. Para valores de potência suavizada superiores a 20% da produção da central, existe um aumento do grau de liberdade em termos de produção equivalente à potência instalada da central, sendo que esta pode no mesmo instante variar da produção nula até a uma produção em plena carga do grupo gerador.

Entende-se esta central como a que proporcionará melhores resultados não só pela potência que está disponível para produzir mas também pela enorme regulação que apresenta.

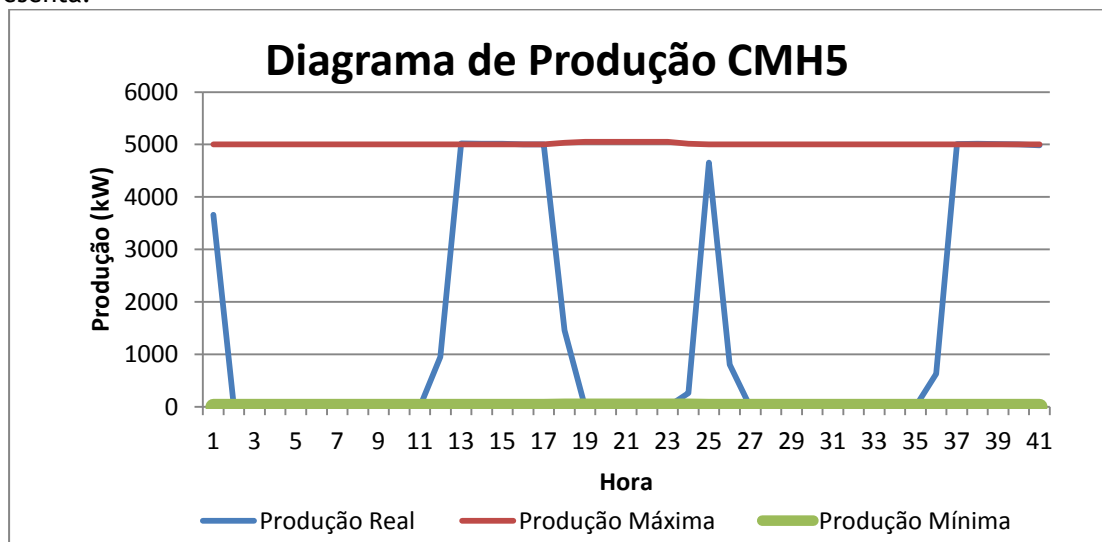


Figura 3.20 - Diagrama horário de produção CMH5

O diagrama de carga da Figura 3.20 demonstra, então, a flexibilidade já referida, sendo que cabe à otimização utilizar este recurso da forma mais eficiente possível, maximizando o parâmetro que seja mais interessante para cada caso. O diagrama caracteriza o primeiro patamar de produção, uma vez que os limites estão fixados em cerca de 5000kW, no entanto, o caso do segundo patamar terá o mesmo comportamento variando apenas na amplitude da produção máxima apresentada.

Por forma a tirar conclusões acerca do impacto de qualquer alteração na estratégia de operação e sua integração em mercado, e tendo em conta que uma mudança a este nível para ter algum grau de significância deve ser feita a uma amostra tão vasta quanto possível, assim será utilizada uma base de produção de energia através de aproveitamentos hidroelétricos em Portugal. Esta base de dados conta com a produção para uma base temporal de aproximadamente dois anos, com caráter contínuo e atual, uma vez que, o último dia registado data do fim do passado mês de março.

Como já foi acima descrito, as várias centrais no âmbito nacional são diferentes entre si, a nível de potência instalada, estratégia de produção, nível de regulação e até propósito de utilização, como é o caso da incluída na empresa têxtil. No entanto, vamos admitir que para fins de cálculo, podemos agrupar todo o consumo nacional e trabalhar com esses dados como se de uma grande central se tratasse, e assim sendo, poderemos obter máximos e mínimos de produção, e futuramente baseado nestes, formar estratégias, que segundo os seus resultados, definirão o sucesso deste trabalho. Como tal, as seguintes figuras dizem respeito aos níveis acumulados de produção nacional e a estratégia média de todas as centrais que para estes contribuíram.

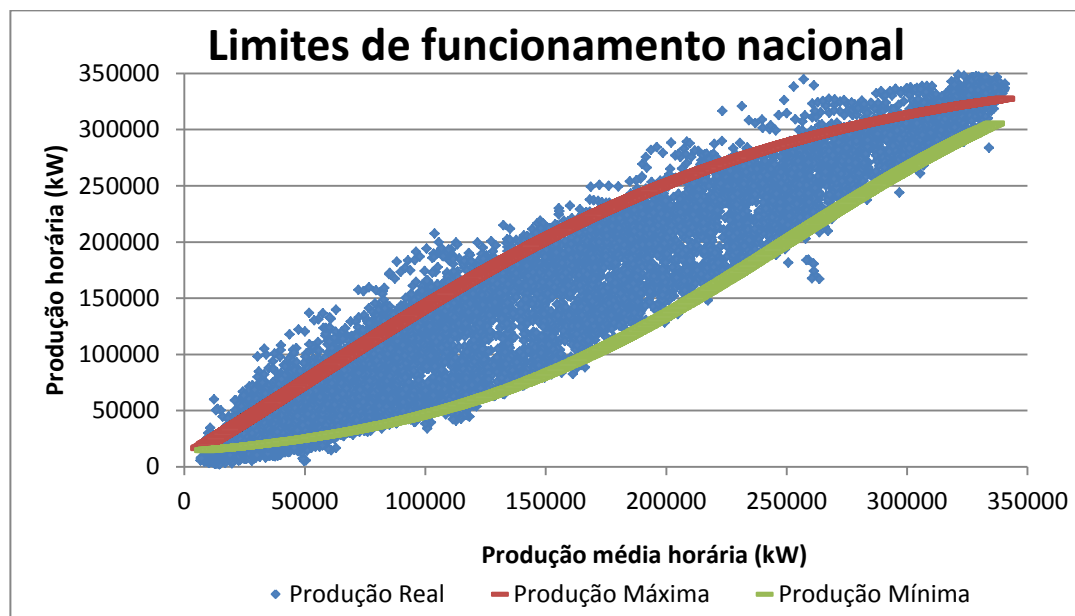


Figura 3.21 - Limites de funcionamento do acumulado nacional

Na Figura 3.21 pode-se ver as formas de onda que representam os valores máximos e mínimos de produção do acumulado das centrais nacionais, sendo esta característica presente tomada como média nacional. Foi necessário ignorar alguns pontos máximos e mínimos que se apresentavam como casos mais pontuais, pelo que se optou por não integrar na estratégia. Neste caso, a estratégia tem um comportamento bastante linear a nível da nuvem comportamental, no entanto, apresenta ainda uma grande capacidade de regulação que permitirá, dentro da estratégia limiar, estabelecer algumas otimizações que representem melhorias na remuneração destas centrais agrupadas. Quando os valores de energia estão baixos, não se pode aumentar muito mais, provavelmente devido à falta de água, da mesma forma quando os valores médios de produção estão muito altos, a produção horária tem que ser alta, de outra forma estaria a desperdiçar-se recurso hídrico. Contudo, quando os valores de produção são medianos existe uma grande gama de operação, sendo possível variar na produção hídrica nacional cerca de 200 MW sem violar os limites de produção das centrais.

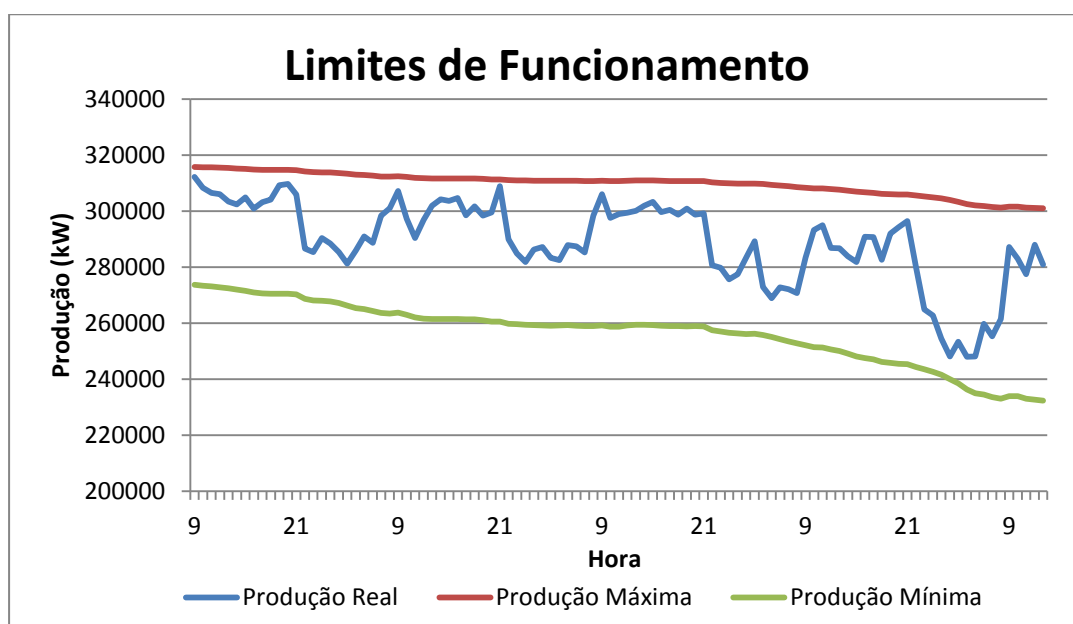


Figura 3.22 - Diagrama horário de produção

Na Figura 3.22, vê-se mais claramente um ponto específico da produção, denotando-se uma produção bastante oscilante, sendo que a produção se desenvolve em pontos máximos em torno das horas de ponta, no entanto ainda existe um grau de liberdade que possibilitaria uma otimização da produção cruzando esta possibilidade com informação acerca dos valores recebidos pela produção de energia.

3.2.3 Conclusão

Tendo em conta a análise das características de produção, nomeadamente as produções diárias de cada central e do acumulado nacional, bem como os limites horários de produção, estão agora reunidas condições para uma otimização estratégica com o objetivo e melhoria do valor pago pela renovável. Assim, o passo seguinte foi associar o preço de mercado aos dados retidos da análise anterior para evoluir para uma nova estratégia mais benéfica em termos de remuneração da produção destas centrais. Surgindo assim, a possibilidade de elaborar o despacho individual otimizado.

3.3 - Algoritmo de despacho individual

3.3.1 Introdução

No seguimento da secção anterior e com o intuito de melhorar a estratégia de produção das centrais, tendo em conta uma possível introdução no mercado, a solução que é proposta é a elaboração de um despacho fazendo uso dos elementos que são fornecidos, como sendo o preço de mercado, a quantidade de energia passível de ser produzida no espaço de um dia e os limites máximos e mínimos de produção numa base horária. Logo, o despacho terá por objetivo a maximização do lucro num intervalo de tempo de um dia, o que significa a capacidade de armazenamento média especificada, bem como o intervalo de tempo com antecedência que se pode saber os preços de mercado. Seguidamente, estarão expostos os pressupostos em que se baseia o despacho individual diário.

3.3.2 Modelo Matemático

O objetivo da otimização é maximizar o benefício proveniente da correta gestão de produção para a janela temporal diária, tendo em conta a variação horária do preço da energia em mercados de eletricidade, privilegiando a produção em horas de preços mais elevados. Assim, pretende-se, sujeitando a produção aos limites técnicos da central, retirar o máximo proveito. Admitindo uma previsão da produção baseada em séries temporais, podemos saber qual a quantidade de energia que poderá ser utilizada no período em questão. Admite-se também que uma pequena central hídrica é passiva em termos de preço de mercado, uma vez que não introduz variações no mesmo, sabendo-se, portanto, os valores dos preços de mercado que são depositados no portal do MIBEL, no dia anterior. Estando assim reunidas as condições para a realização da otimização.

A otimização pode ser descrita como a maximização de:

$$\text{Max } J = \sum_{i=0}^{23} \lambda_i p_i \quad , \quad p_i \in R \quad (3-4)$$

$$\text{subj.} \quad P_{\min,d} < p_i < P_{\max,d} \quad (3-5)$$

$$P_{\text{est},d} = \sum_{i=0}^{23} p_i \quad (3-6)$$

- J - O valor da remuneração diária;
- λ_i - Preço de mercado previsto para a hora i;
- p_i - Potência produzida pela central na hora i;
- $P_{\min,d}$ - Potência mínima no dia d;
- $P_{\max,d}$ - Potência máxima no dia d;
- $P_{\text{est},d}$ - Potência estimada no dia d.

Esta equação está sujeita aos valores de produção máxima e mínima, limitados pela característica técnica da central, bem como ao valor máximo de energia a produzir naquele dia, dado pela previsão.

A equação 3-4 representa o despacho, assegurando a maximização dos valores de remuneração diária em que estão presentes os preços de mercado oriundos de uma previsão através de uma série temporal e o valor de produção a definir no despacho como variável dependente da equação. Pretende-se uma maximização desta função numa janela de temporal de um dia.

Esta equação está sujeita aos limites impostos pelas equações 3-5 e 3-6.

Na equação 3.5 está imposta uma produção para cada hora, dentro dos limites de produção indicados na mesma equação. Os valores de produção máxima e mínima são dados por uma função sigmoide criada para a caracterização de centrais neste mesmo trabalho, estas funções traduzem-se nas equações 3-7 e 3-8.

$$P_{max,d} = P_{min} + \frac{P_{max} - P_{min}}{1 + e^{-8 \frac{P_{suavisado} - h_{c,max}}{h_{s,max}}}} \quad (3-7)$$

$$P_{min,d} = P_{min} + \frac{P_{max} - P_{min}}{1 + e^{-8 \frac{P_{suavisado} - h_{c,min}}{h_{s,min}}}} \quad (3-8)$$

A equação 3-6 representa também uma restrição da aproximação acima mencionada, na qual se indica que o somatório das produções horárias deverá ser sempre igual ao valor de produção estimada para o dia em questão, por forma a garantir que se utilize a mesma quantidade de energia, uma vez que não é possível produzir mais por falta de recurso e não se pode produzir menos para não desperdiçar o mesmo recurso.

Esta Produção estimada pode obter-se pela equação 3-1, que representa uma aproximação da produção para cada dia.

3.3.3 Procedimento

Através da equação acima descrita expõem-se o modelo matemático, no entanto, para chegarmos ao valor do despacho foi utilizado um procedimento. Seguidamente será demonstrado este procedimento empírico do qual resulta o despacho sob a forma de um diagrama devidamente explicado.

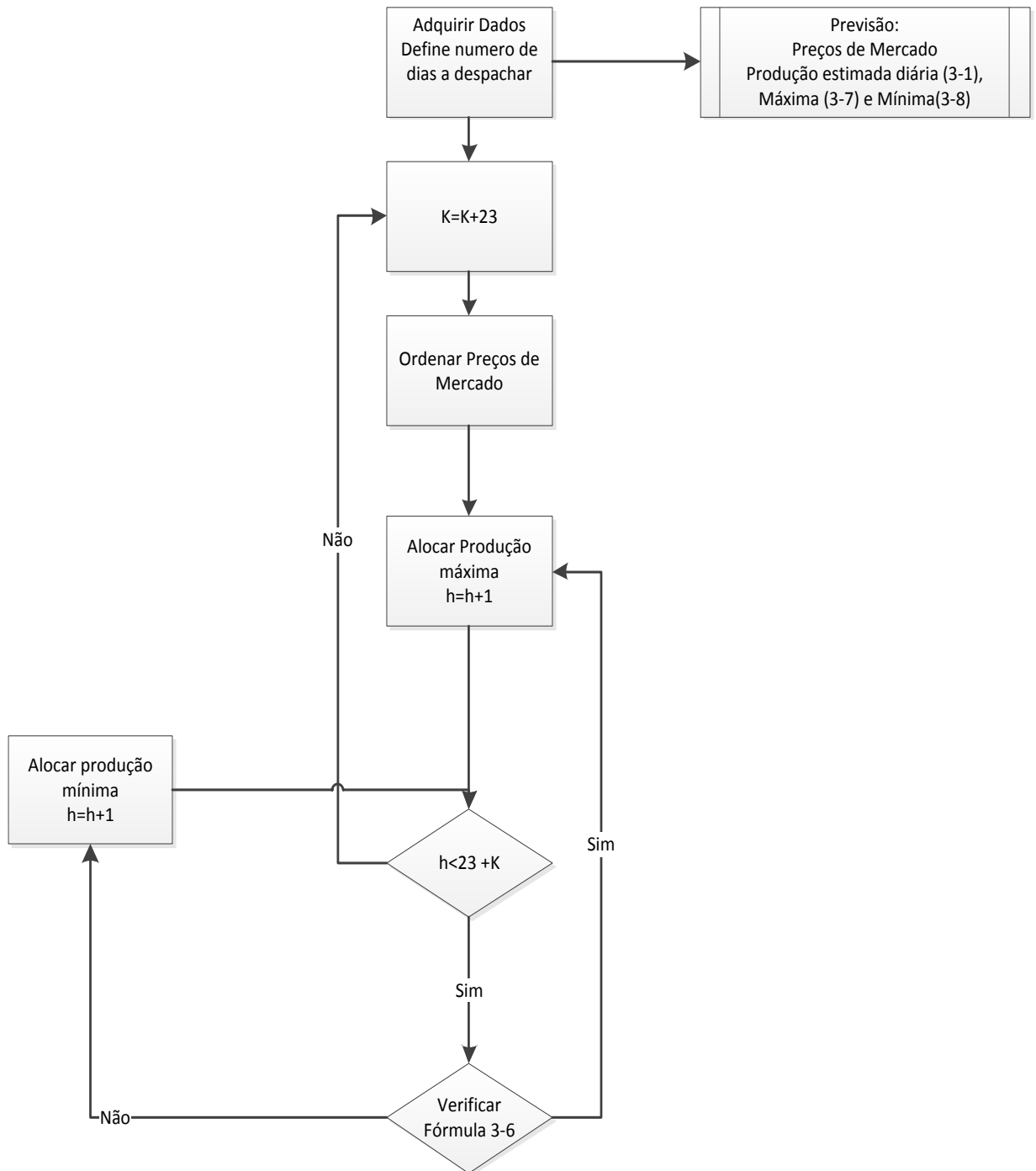


Figura 3.23 - Fluxograma despacho individual

Inicialmente é necessário ao despacho uma quantidade de valores referentes aos preços de mercado, potência máxima e mínima diária, bem como os valores de produção estimada que definirão a quantidade de energia produzida no dia.

Na Figura 3.23 apresentam-se então os preços de mercado:

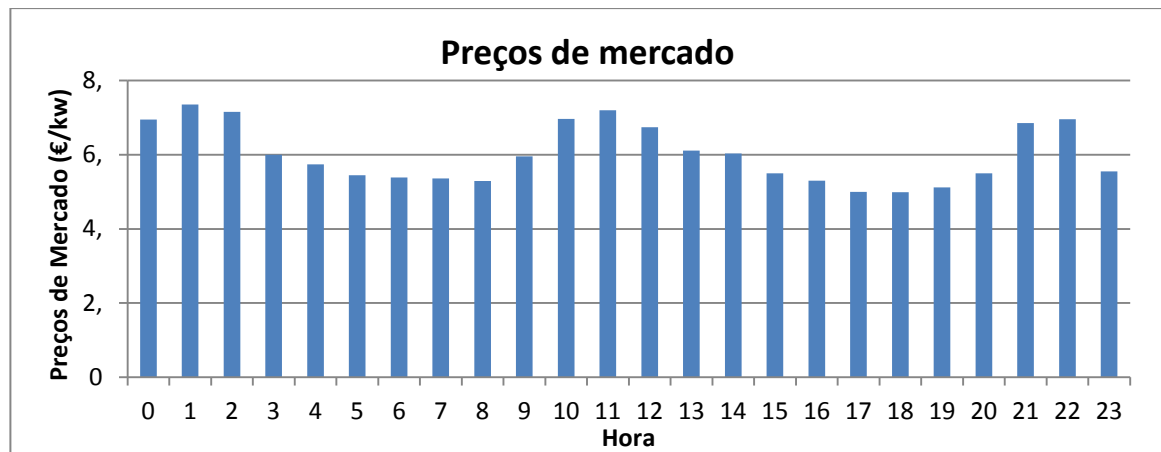


Figura 3.24 - Preços de Mercado

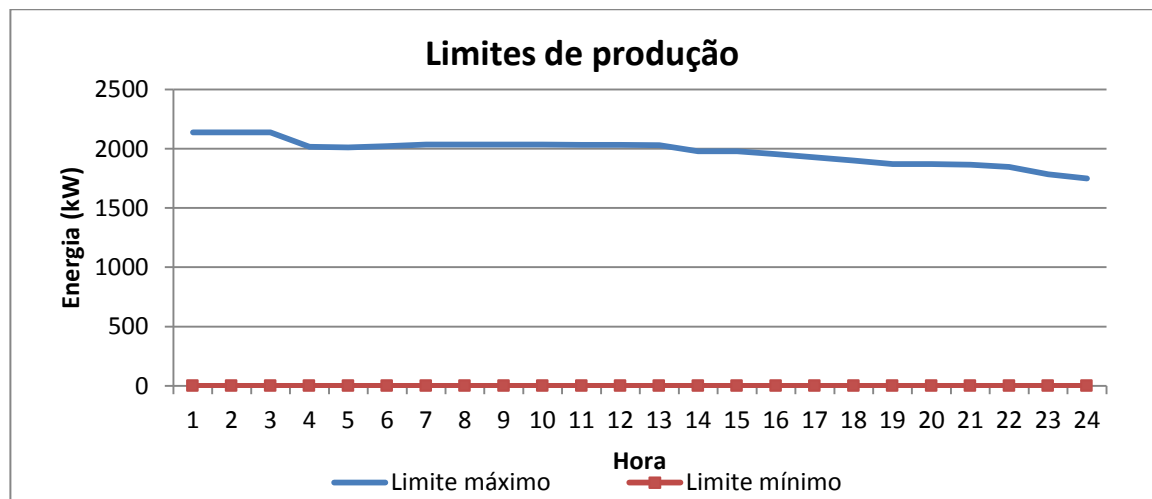


Figura 3.25 - Limites de Produção

Como se percebe no fluxograma existe um ciclo interior nesta ferramenta que para cada dia ordena os valores dos preços de mercado por ordem decrescente, da mesma forma que estão apresentados na Figura 3.24.



Figura 3.26 - Preços de mercado ordenados

Aplicando então a produção nas horas mais benéficas, tendo sempre em atenção os limites máximos e mínimos das centrais, é desenhado o diagrama de despacho da Figura 3.26.

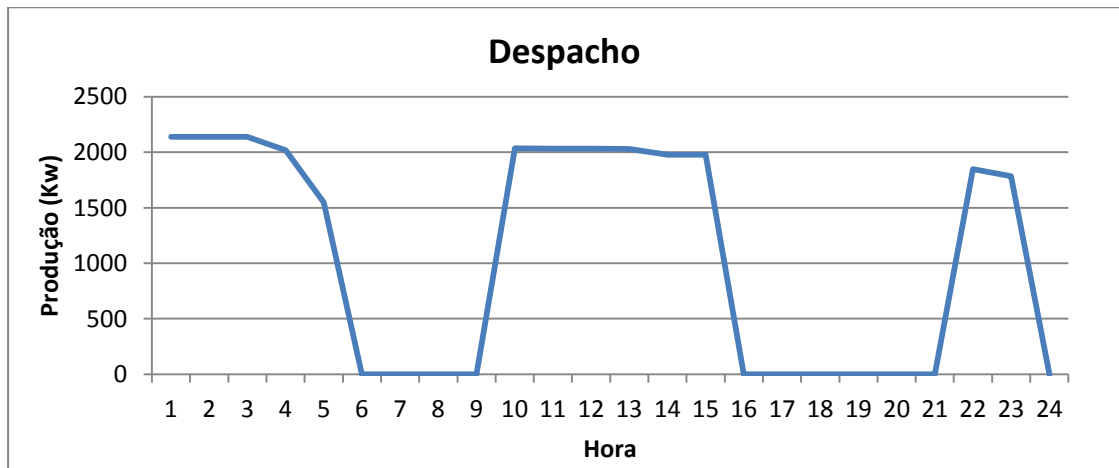


Figura 3.27 - Resultado do despacho baseado nos preços de mercado

Como podemos ver, as horas que apresentam valores de preços mais baixos acabam por ser inibidas de produzir em detrimento das horas que apresentam preços e mercado mais elevados, isto tendo em conta os limites máximos e mínimos de produção aproximados pela função sigmoide para garantir a possibilidade técnica desde despacho. Assim, consegue-se, à primeira vista e neste caso particular, aumentar o benefício para o promotor em caso de integração no mercado de eletricidade ibérico.

Em anexo aparecem as ilustrações correspondentes às duas folhas de cálculo Excel e o correspondente código em Visual Basic que elabora todo o procedimento que foi apresentado. Inicialmente é apresentada uma imagem da página onde estão concentrados tanto os dados dos preços de mercado, assim como os valores de produção previstos que permitem estimar a energia possível de produzir em determinado dia e os valores máximos e mínimos de produção que são indispensáveis ao cálculo do despacho. Posteriormente é apresentada então uma imagem da página do cálculo do despacho individual diário, em que se apresentam 3 diferentes matrizes.

Uma primeira matriz corresponde aos valores dos preços de mercado e respetivas horas, bem como a produção estimada tendo por objetivo a ordenação da mesma pelos preços de mercado. A seguinte matriz apresenta os valores da produção possível a cada dia, para cálculo da produção diária, uma coluna de cálculo auxiliar, e os valores de produção máxima e mínima a cada hora, ordenados pelos preços do mercado.

Representadas estão também duas colunas de cálculo auxiliar, uma que aloca os valores possíveis nas horas mais lucrativas, e outra, os valores mínimos quando os valores de produção diários estão já esgotados.

Uma outra matriz apresenta os valores finais do despacho bem como as horas referentes. Esta tem por objetivo a ordenação dos valores de produção resultantes do despacho, pela correta ordem das horas do dia bem como forma de verificação dos preços de mercado.

No seguimento deste exemplo do funcionamento do despacho, são também apresentadas as linhas de código, devidamente comentadas, que operam as folhas de cálculo já referidas.

Capítulo 4

Estudo económico das centrais

4.1 - Estratégia de produção atual

4.1.1 Introdução

Como foi já disposto no Capítulo 3, cada central tem uma determinada estratégia, dependendo de características técnicas ou mesmo decisões de operação do próprio promotor. Estratégia essa, que fundida com o regime tarifário em vigor gera resultados financeiros, cujo objetivo global tende a ser a maximização dos mesmos através de benefícios monetários.

Na Figura 4.1 estão representadas as valorizações recebidas pelo promotor para um exemplo de 3 dias de produção de determinada central. A vermelho estão assinalados os valores da tarifa bi-horária, em que os valores mais altos dizem respeito aos cenários de ponta e os mais reduzidos a cenários de vazio, incentivando, portanto, a produção em horas de ponta. A azul estão representados os preços de mercado associados à bonificação média para a central. A bonificação média está por si só representada na reta a verde e é calculada com o valor médio das bonificações recebidas através do regime de tarifa ao longo do ano. Como podemos ver, os valores das tarifas não estão coincidentes em termos horários com os preços de mercado. Percebe-se assim, que este regime de tarifa está desatualizado tendo em conta o paradigma de produção atual, no qual as horas de ponta já não são as horas em que existe maior necessidade de energia.

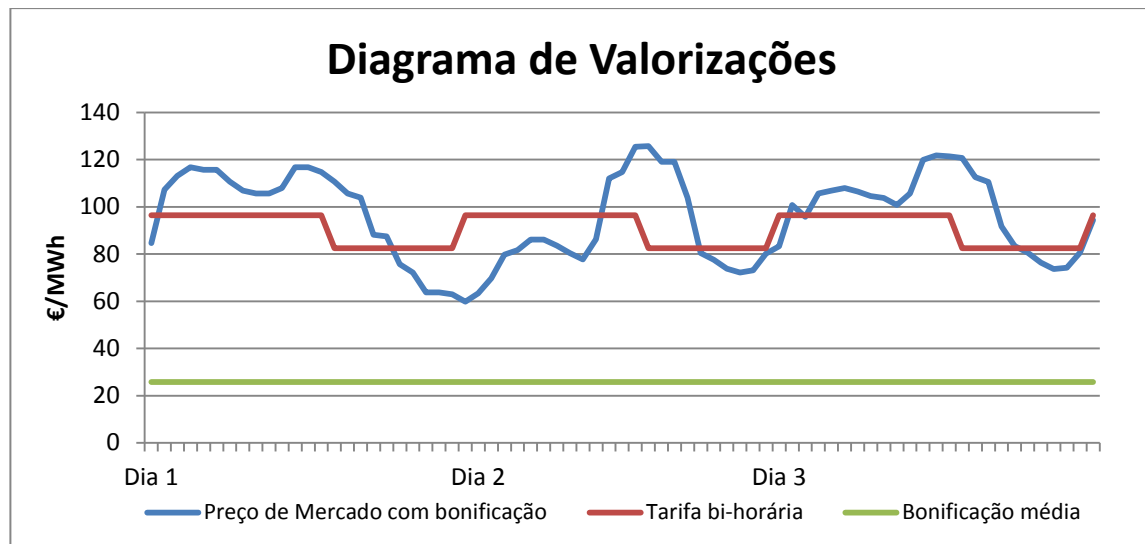


Figura 4.1 - Diagrama de valorizações

Na Figura seguinte apresenta-se a previsão da produção da primeira central. Esta tem tendência a aumentar a produção nas horas de ponta, seguindo as indicações da tarifa bi-horária, o que acaba por prejudicar os valores recebidos pela mesma no caso do mercado. A estratégia da central está feita de forma a produzir mais nas horas de ponta que nas horas de vazio, daí resultar uma maior valorização como iremos ver nas seguintes figuras.

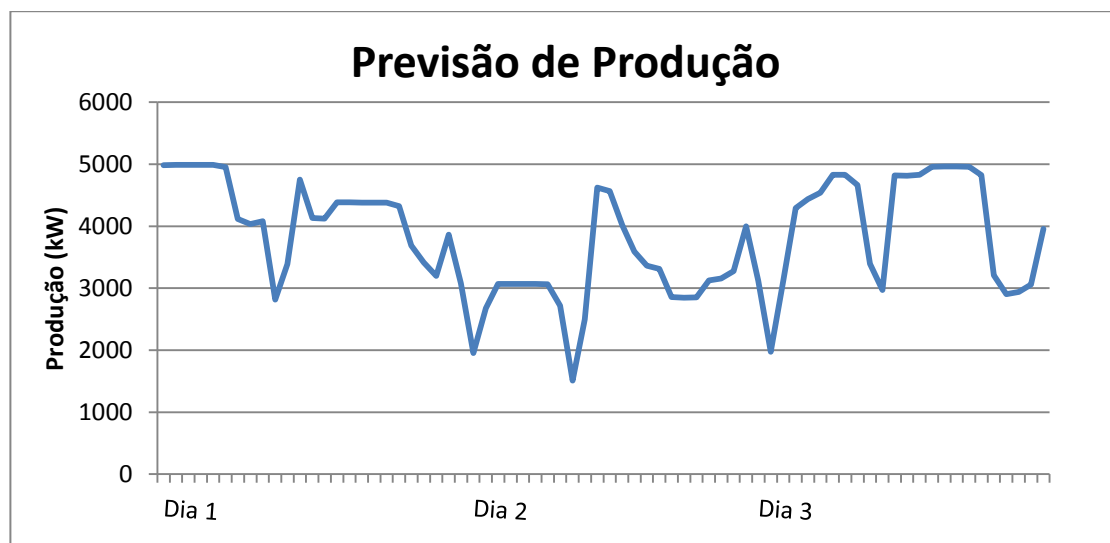


Figura 4.2- Previsão de Produção Diária

Nesta secção é feita uma comparação de uma passagem direta do regime de tarifa atual em vigor para um regime de mercado, sem bonificação.

Mantendo os valores de produção e a estratégia atualmente utilizada, será feita uma análise aos valores totais recebidos por parte do promotor.

Esta análise é representada através de uma Figura que terá como componentes os dois regimes possíveis de remuneração, regime de tarifa e regime de mercado, e para cada um

destes é feita uma análise por cenário, vazio e ponta, por forma a facilitar a perceção dos resultados obtidos.

Na mesma secção são ainda apresentados os totais de valorização para cada um dos regimes sob a forma de uma tabela complementar à Figura.

4.1.2 Análise de resultados

Apresenta-se de seguida a Figura 4.3 correspondente à central mini-hídrica 1.

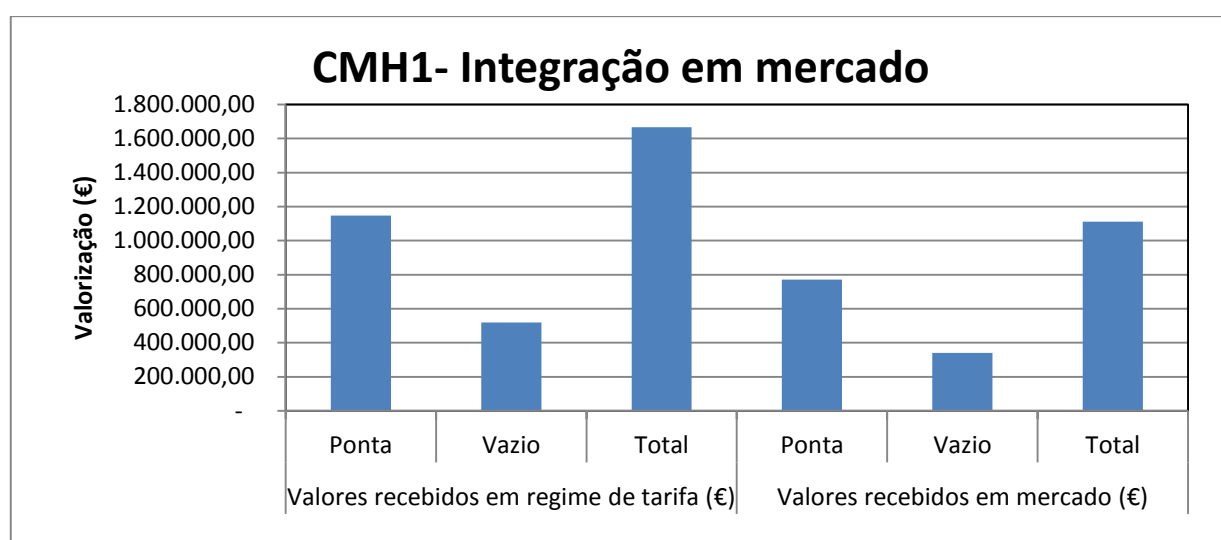


Figura 4.3 - Análise financeira comparativa da integração da CMH1 em Mercado

Verificando então os valores expressos na Figura 4.3, reconhece-se uma diminuição dos valores pagos ao promotor da central mini hídrica, sendo que, os valores em ambos os cenários de ponta e vazio são bastante mais reduzidos, contribuindo assim, para valores totais em mercado inferiores, quando comparados aos valores recebidos no regime de tarifa.

Poderemos ver melhor estas relações na tabela seguinte.

Tabela 4.1— Análise financeira comparativa da integração da CMH1 em Mercado

Valores recebidos em regime de tarifa (€)			Valores recebidos em mercado (€)		
Ponta	Vazio	Total	Ponta	Vazio	Total
1.148.287,56	518.379,63	1.666.667,19	771.787,72	340.098,81	1.111.886,53

Temos então na tabela os valores referentes ao teste feito à primeira central e através de simples cálculos, podendo afirmar-se que existe uma diminuição do valor pago pela energia elétrica ao promotor quando a passagem para mercado se verifica, sendo o valor desta diminuição no pagamento de cerca de um terço, 33% na ponta e 34% no vazio. Assim, uma passagem para mercado, mantendo a produção atual das centrais, significaria uma perda de 33% dos valores recebidos atualmente por esta central especificamente. Com a opção de venda em mercado, sem qualquer bonificação, o promotor desta central receberia menos 25,7€/MWh. Este valor é obtido através da média calculada pela expressão da equação 4-1, que representa o valor médio da subtração dos valores horários da tarifa e o preço de mercado.

$$\text{Bon}_m = \frac{\sum V_{t,i} - \lambda_i}{N} \quad (4-1)$$

- Bon_m - Representa a bonificação média para uma dada central no período de um ano;
- $V_{t,i}$ - Representa o valor da tarifa para cada hora;
- λ_i - Representa o preço de mercado para cada hora;
- N - Número de horas para o cálculo da média.

Para que o promotor receba os mesmos proveitos anuais necessitaria portanto, de receber uma bonificação adicionalmente ao preço de mercado de 25,7€/MWh

Relativamente à segunda central, CMH2 será seguidamente realizado o estudo.

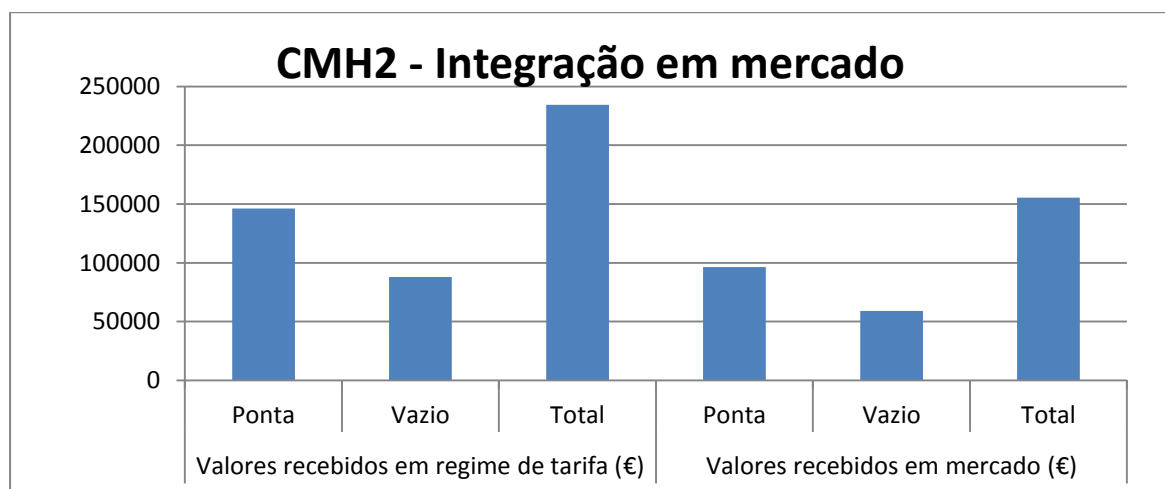


Figura 4.4 - Análise financeira comparativa da integração da CMH2 em Mercado

Neste caso, podemos verificar que, comparativamente com o caso anterior, a diferença é aproximadamente a mesma, apesar dos valores envolvidos serem de gamas bastante diferentes, verifica-se que, mais uma vez, a inclusão destas centrais em mercado implica uma diminuição do valor recebido por parte do promotor, sendo a diminuição de 33%. Neste caso particular, e por se tratar de uma central com pouca regulação, os valores recebidos na ponta e vazio são mais próximos entre si, uma vez que não existe a tentativa de produzir mais nas horas de ponta do que nas horas de vazio. No entanto, as horas de vazio são mais diminutas, o que associado ao seu menor valor de remuneração, faz com que a valorização total resultante seja mais baixa.

Tabela 4.2 – Análise financeira comparativa da integração da CMH2 em Mercado

Valores recebidos em regime de tarifa (€)			Valores recebidos em mercado (€)		
Ponta	Vazio	Total	Ponta	Vazio	Total
146.343,61	88.042,95	234.386,56	96.398,56	59.034,96	155.433,53

Na tabela 4.2 podemos então verificar os valores específicos resultantes dos somatórios das valorizações para os cenários de ponta e vazio, para o regime de tarifa e para o de mercado, bem como os respetivos totais. Neste caso o valor de bonificação a ser pago seria em média 25,9 €/MWh.

Seguidamente apresentar-se-á os resultados do estudo económico da CM3.

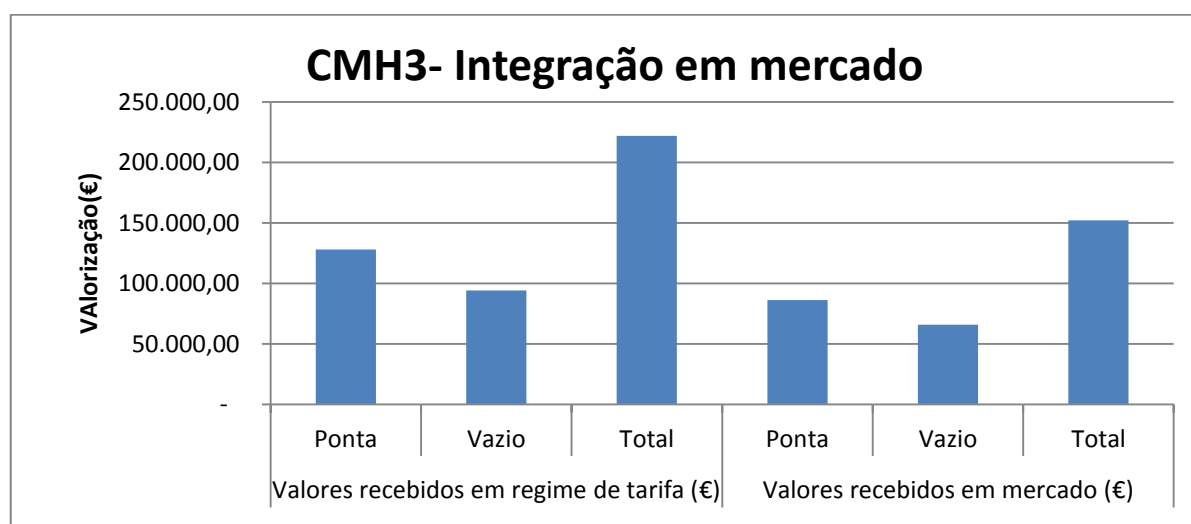


Figura 4.5 - Análise financeira comparativa da integração da CMH3 em Mercado

A central mini-hídrica em questão é uma central cuja valorização se aproxima da anterior, sendo uma das centrais com valores mais baixos de produção. Esta central tem

ainda a particularidade de se inserir numa empresa têxtil, apresentando uma produção no vazio bastante próximo da ponta na estratégia atual.

Na passagem direta para mercado sem alteração da estratégia, a valorização diminui um pouco, continuando os valores de ponta próximos dos valores de vazio. Este tipo de central representa um tipo exclusivo de aproveitamentos em que a água não está sempre disponível para produção de eletricidade, sendo também útil para a operação em contexto fabril.

Apresenta-se de seguida a tabela 4.3 representativa dos resultados obtidos.

Tabela 4.3 – Análise financeira comparativa da integração da CMH3 em Mercado

Valores recebidos em regime de tarifa (€)			Valores recebidos em mercado (€)		
Ponta	Vazio	Total	Ponta	Vazio	Total
127.857,93	94.027,76	221.885,69	86.165,30	65.753,02	151.918,31

Como se pode verificar numericamente, tanto no regime de mercado como no atual regime de tarifa, os valores de vazio e de ponta são aproximados, o que não acontece normalmente, isto pelo facto da produção se concentrar nas horas em que a água não é necessária para a confeção, podendo esta, então, ser turbinada e aproveitada para a produção de energia elétrica. Neste caso, o valor de bonificação a ser pago seria em média 26,4 €/MWh.

Apresenta-se de seguida o estudo realizado para a quarta central mini hídrica.

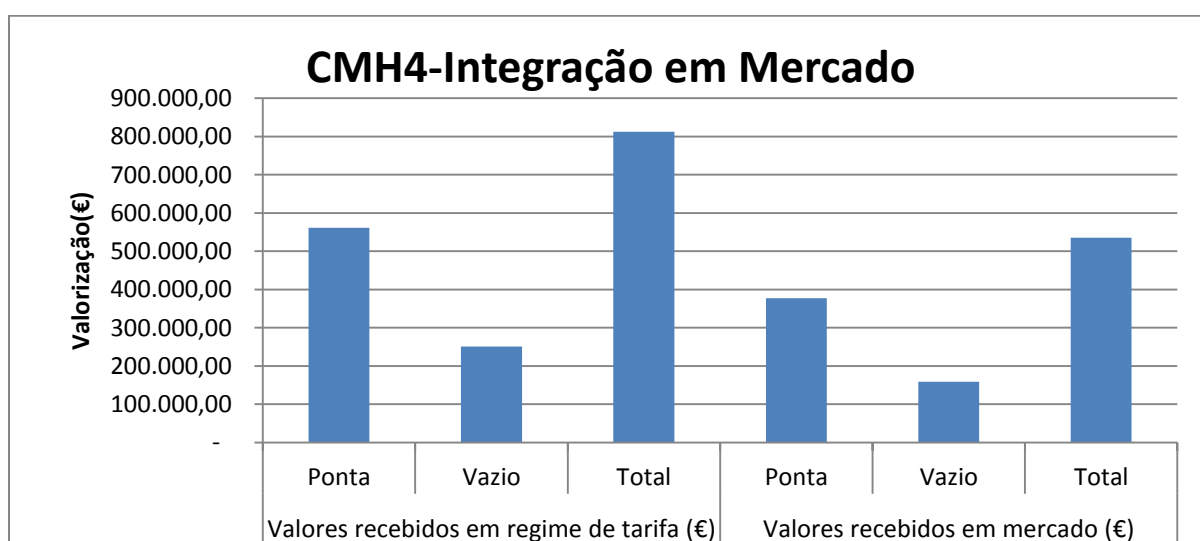


Figura 4.6 – Análise financeira comparativa da integração da CMH4 em Mercado

Esta central é caracterizada pela sua alta produção e pela baixa capacidade de acumulação de energia, sendo uma central em que a produção é relativamente pequena tendo em conta a sua potência instalada. Assim, apesar de esta apresentar uma potência instalada bastante alta, a valorização não corresponde diretamente ao aumento da potência instalada quando comparada às centrais anteriores. Esta central apresenta um valor de ponta relativamente alto comparativamente com os valores recebidos em cenário de vazio, mais especificamente, o dobro. Isto acontece devido à renumeração mais baixa em períodos de vazio, associado ao menor número de horas consideradas no cenário de vazio.

Observando a diferença entre a tarifa e o regime de mercado, como se apresenta em todas as outras centrais, os valores são razoavelmente mais baixos neste último regime.

Tabela 4.4 – Análise financeira comparativa da integração da CMH4 em Mercado

Valores recebidos em regime de tarifa (€)			Valores recebidos em mercado (€)		
Ponta	Vazio	Total	Ponta	Vazio	Total
561.480,18	250.704,76	812.184,94	376.882,79	158.674,87	535.557,66

Analisando a tabela verificamos que, em comparação com os valores de remuneração das centrais já estudadas, estes valores são superiores, no entanto, não acompanham o aumento da potência instalada. Esta central é um caso em que é possível e pode, neste caso, mostrar-se extremamente lucrativo o despacho otimizado para os preços de mercado. Resulta desta central uma bonificação de 26.42 €/MWh para atingir os valores de tarifa.

O último caso particular estudado é o da central mini hídrica 5.

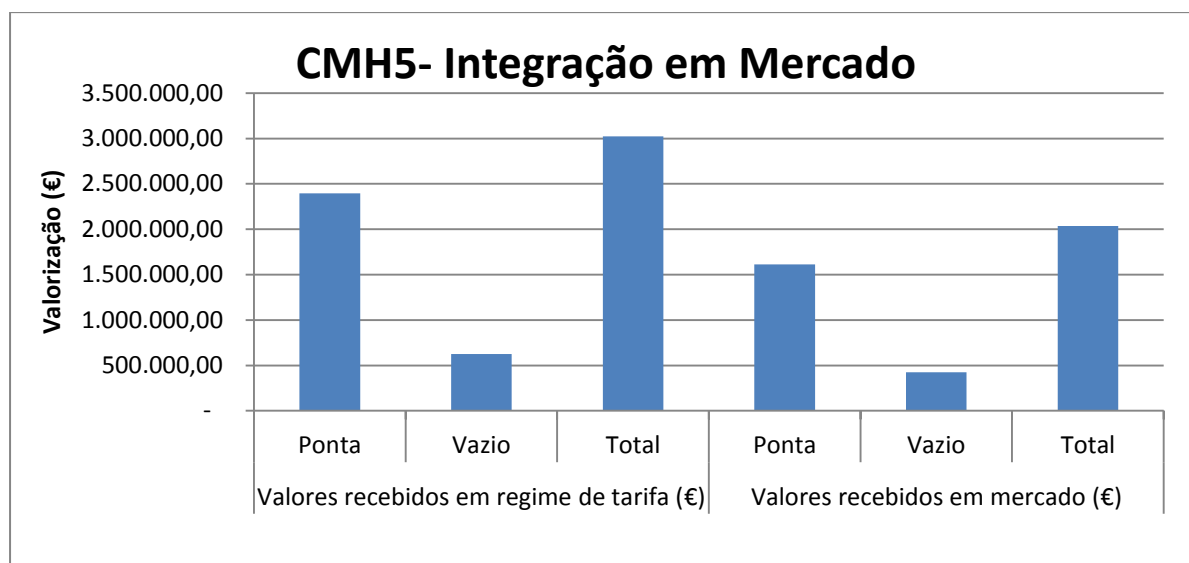


Figura 4.7 - Análise financeira comparativa da integração da CMH5 em Mercado

Esta central é caracterizada principalmente pela sua capacidade de armazenamento de energia, sendo, de todas, a que tem maior açude e portanto maior capacidade de regularização. Em comparação com a central anterior, cuja potência instalada é coincidente, apresenta maior valorização para a estratégia utilizada, sendo que se trata de uma estratégia apurada para maximização de lucro através da renumeração da tarifa. Como podemos ver na Figura 4.5, a produção nos períodos de ponta é muito superior à produção nos períodos do vazio, mais concretamente, e no caso da estratégia atual, pago pelo regime de tarifa 74 % e o mesmo no regime de mercado. Este caso particular representa as centrais a nível nacional que possibilitam, sem qualquer tipo de limitações, uma estratégia intimamente relacionada com o tipo de regime de remuneração a ser aplicado. Em termos de modificação do comportamento, tendo em conta os regimes de renumeração neste caso, e como em outros, o valor recebido em mercado não alcança o valor recebido em regime de tarifa, aproximando-se dos 33% de défice que já vimos anteriormente.

Os valores envolvidos podem ser então comprovados pela tabela 4.5 apresentada de seguida.

Tabela 4.5 – Análise financeira comparativa da integração da CMH5 em Mercado

Valores recebidos em regime de tarifa (€)			Valores recebidos em mercado (€)		
Ponta	Vazio	Total	Ponta	Vazio	Total
2.396.764,47	627.231,58	3.023.996,05	1.611.650,67	425.558,4	2.037.209,12

Os valores apresentados confirmam o que foi especificado acima e revelam, desde já, a diferença significativa entre esta central e todas as restantes no que diz respeito à gama de valores associados ao défice entre o valor recebido em mercado e o valor recebido na tarifa, sendo que a bonificação média apresenta 26 €/MWh.

Como forma de conclusão, irá ser apresentada de seguida a mesma análise para o caso da produção a nível nacional, por um período de sensivelmente dois anos, finalizando no último dia do mês de março de 2012. Pretende-se assim elaborar um estudo demonstrativo, do impacto económico das centrais mini hídricas no território nacional.

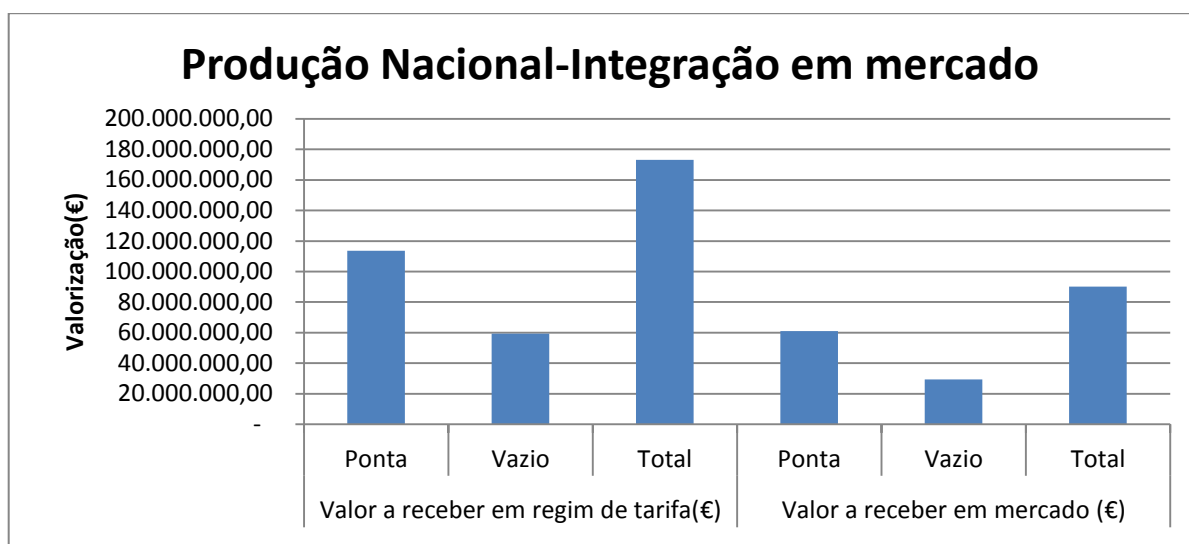


Figura 4.8 - Análise financeira comparativa da integração da produção anual em Mercado

Estes valores são, então, referentes a um período de dois anos. Analisando inicialmente apenas a parte do regime de tarifa percebemos que, como nos restantes, o valor recebido em ponta é bastante superior ao valor recebido no vazio, totalizando dois terços da renumeração total. Quando comparado com o total do valor recebido em mercado, percebe-se que o valor pago em tarifa é bastante elevado. Pode-se perceber que, no caso de integração das centrais mini hídricas em mercado, seria necessário uma quantia de ressarcimento correspondente ao défice já indicado anteriormente sob forma de bonificação equivalente ao valor recebido através do próprio mercado, ou seja, neste caso os valores deixam de défice cerca de um terço do valor total do regime de tarifa e passam a ter metade, o que representa um valor mais alto pago através do CUR.

Como se percebe, apenas a introdução deste tipo de tecnologia em mercado não traria nenhum benefício, alterando apenas uma parte do diagrama de aquisição de energia presente na Figura 2.5.

Tabela 4.6 – Análise comparativa financeira da integração da PMH nacional

Valor a receber em regime de tarifa(€)		Valor a receber em mercado (€)	
Ponta	Vazio	Ponta	Vazio
113.623.520,92	59.409.231,51	60.950.062,70	29.304.949,13

Resulta deste cálculo um valor de bonificação de 43,86 €/MWh, que ganha especial importância, dado que será o valor de todos os valores de bonificação anterior, uma vez que é resultante de um conjunto de valores bastante significativos tratando-se de todo o parque nacional.

Aplicando então umas pequenas modificações ao mesmo teremos de forma simplificada o seguinte funcionamento.

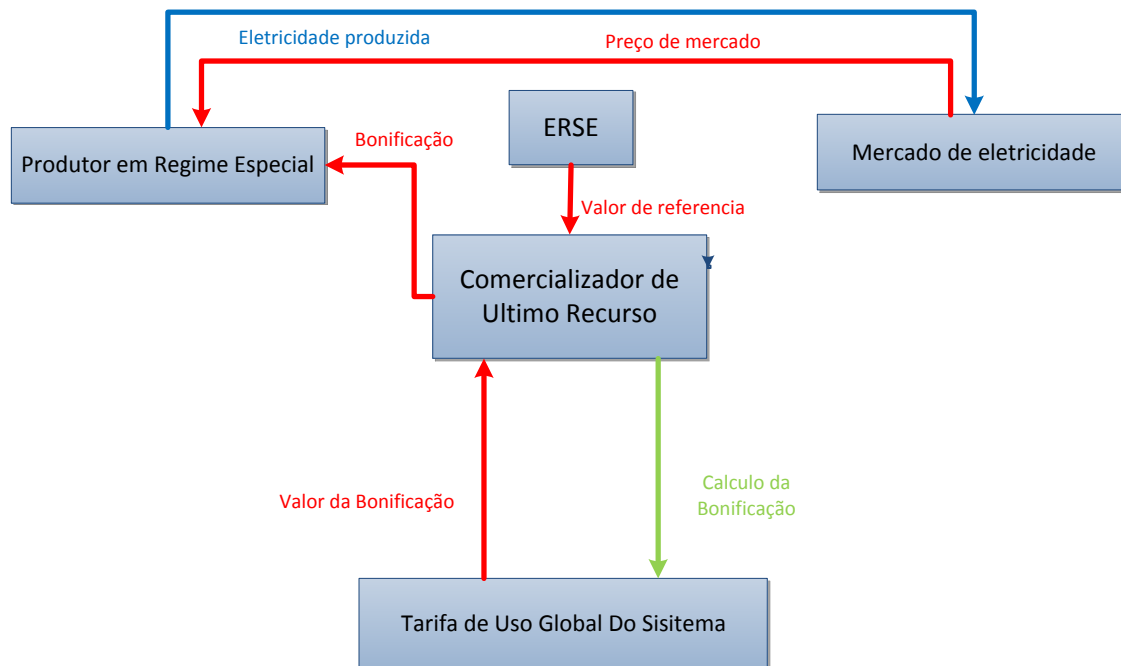


Figura 4.9 - Diagrama de aquisição de energia

Como podemos verificar pelo diagrama da Figura 4.7, o que acabaria por acontecer é que o produtor em regime especial ou um comercializador na posse dos direitos de venda de energia produzida em regime especial, entraria no mercado e a energia seria paga ao valor do preço estipulado no mercado para cada hora. Neste caso acaba por haver uma parte do circuito que deixa de passar pelo comercializador de último recurso, passando este, ou uma entidade com as mesmas relações, a tratar apenas do pagamento de uma bonificação calculada para colmatar a valor estipulado pela ERSE para o financiamento das produções em regime especial, para, assim, garantir a sustentabilidade desta tecnologia sob a forma de uma bonificação. Esta bonificação seria então recebida através da tarifa de uso global do sistema.

4.1.3 Conclusão

Analisando o que acima foi descrito, o valor de referência seria o mesmo, uma vez que é o valor necessário para que as centrais mini hídricas sejam sustentáveis e seria, da mesma forma, calculada pela ERSE. A energia acabaria por ser paga ao mesmo preço pelo mercado e a diferença entre o valor de mercado e o valor estipulado, seria colmatado pela parcela vinda da tarifa de uso global.

Resumindo, e apesar de haver uma arquitetura de funcionamento diferente, os valores envolvidos seriam os mesmos, não havendo benefícios nem malefícios para nenhuma das partes.

Assim sendo, os valores dos preços de mercado são os mesmos, admitindo que as centrais não têm impacto significativo na evolução dos preços de mercado, e sabendo que os valores de referência estipulados pela ERSE são absolutamente necessários à sustentabilidade das centrais desta tecnologia.

O único ponto deste parâmetro que pode sofrer alterações é os níveis de produção de energia por parte das centrais renováveis. Desta forma, introduzimos o ponto essencial para a necessidade de incidir os esforços nas estratégias de produção. Temos, desde já, uma forma de comparação com os valores de renumeração para uma possível nova estratégia, que são os níveis de valorização estudados nesta última secção.

4.2 - Despacho individual

4.2.1 Introdução

Pondo em prática o procedimento de despacho individual demonstrado numa secção anterior, teremos uma nova característica estratégica de produção, apesar dos resultados efetivos do despacho económico se apresentar a nível de valores de produção. O objetivo principal do despacho é o aumento do benefício económico na introdução das CMH em mercado. Sendo mais expressivo a nível de sucesso, mostra os níveis de benefício financeiro refletido pela nova estratégia de produção e serão, também, adicionados os valores percentuais relativamente ao benefício da nova estratégia em relação à anterior.

4.2.2 Apresentação de Resultados

Tendo presente que está em estudo uma introdução das centrais em regime especial em mercado, como é o caso das CMHs, este despacho encara-se como uma boa forma e bastante acessível de operar para introduzir uma melhoria nesta mudança de paradigma de gestão das PRE. Nesta secção coloca-se sob forma de comparação os valores obtidos em regime de mercado na estratégia atualmente em vigor e a nova estratégia impressa pelo despacho individual para cada uma das centrais e seguidamente para a série de dados disponível de todo o país. Pretende-se com isto, transmitir o benefício trazido pelo despacho a nível de valorização da energia produzida. São apresentados também valores percentuais que são a comparação entre os valores descritos nas tabelas e os valores de referência calculados pela ERSE e descritos neste trabalho como valorização de tarifa.

São então apresentados seguidamente os resultados para as várias centrais mini-hídricas, e para o acumulado nacional, tendo em conta que os valores percentuais apresentados têm como base os valores respetivos para a produção em regime de tarifa para a estratégia atual.

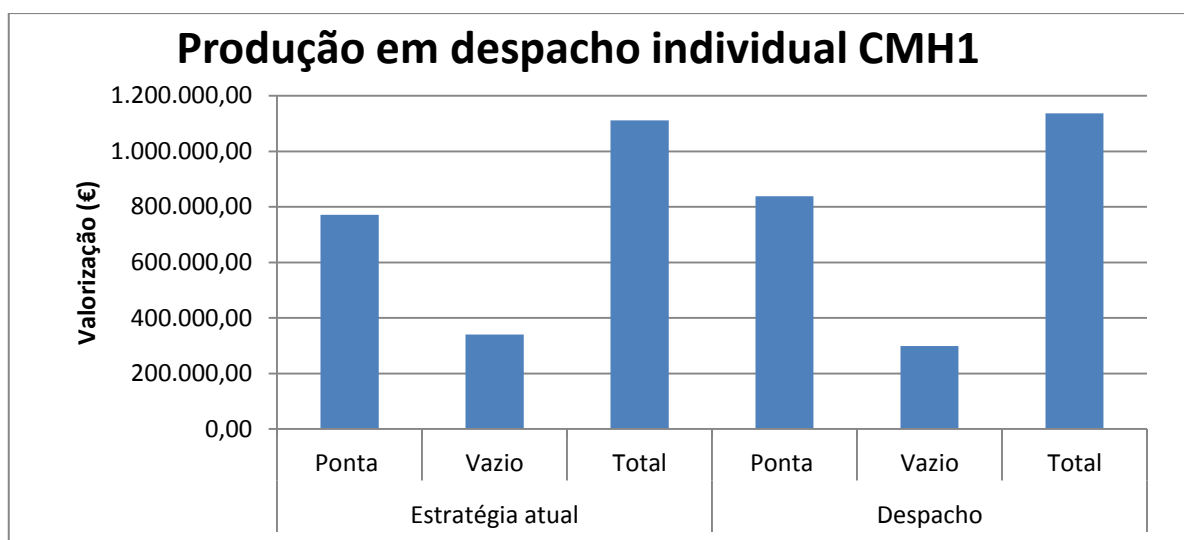


Figura 4.10 - Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado da CMH1

Analisando a Figura 4.8, podemos afirmar, em primeira instância, que os valores de cada um dos cenários de ponta e vazio, bem como o respetivo total, são superiores no caso do despacho determinando em primeira instância o seu sucesso, apesar se não se apresentar no caso muito expressivo. Percentualmente, o aumento foi bastante mais acentuado nas horas de ponta, horas estas que, no caso do mercado, não tem qualquer significado a nível de preço, sendo que a variação do preço apenas depende da hora e não do cenário de produção em que esta está inserida.

Tabela 4.7 — Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado

Valores recebidos na estratégia atual (€)			Valores recebidos com despacho (€)		
Ponta	Vazio	Total	Ponta	Vazio	Total
771.787,72	340.098,81	1.111.886,53	837.987,85	439.940,46	1.277.928,31

Como se verifica pelos valores da tabela 4.7, no caso de ponta, os montantes da valorização acabam por aumentar 8%. No cenário de vazio verifica-se um aumento de 23% e o combinado dos dois cenários resulta na valorização total aumenta 13% com a introdução do despacho.

Apresentando os valores e a Figura 4.11 para a central mini-hídrica 2, obtem-se:

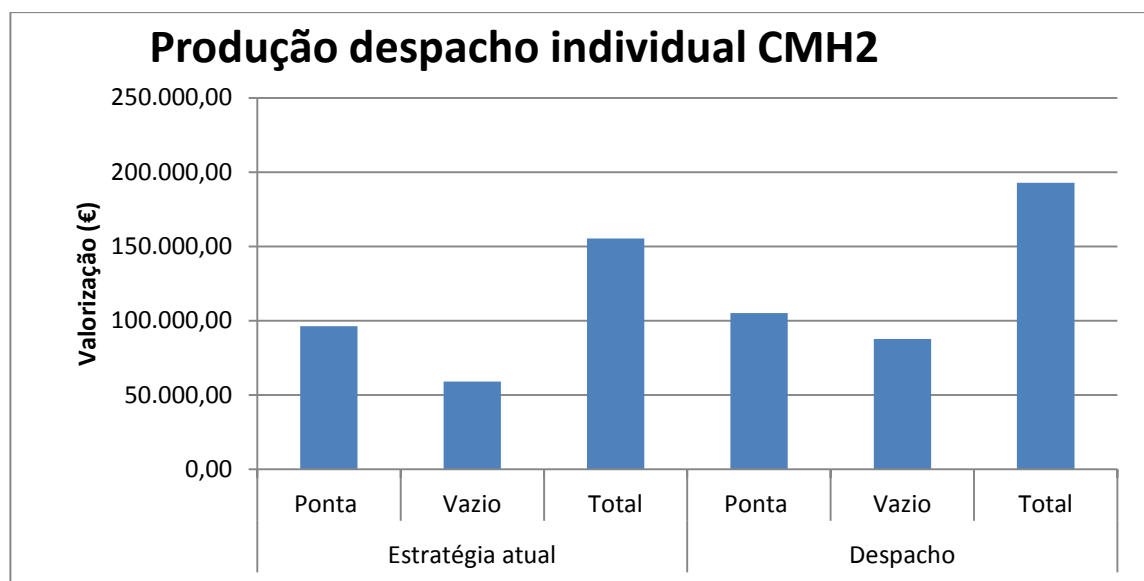


Figura 4.11 - Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado da CMH2

Tendo em conta os limites, a análise da Figura 4.11 traz uma situação que não seria de esperar dada a anterior característica da central e baixo o valor de liberdade. No entanto, a característica fixa e rígida provou-se ainda assim flexível o suficiente, como se poderá verificar melhor com os valores expressos na seguinte tabela. Desde já, através da figura verifica-se um aumento considerável na valorização com a introdução do despacho nesta central em particular, em ambos os cenários estudados, refletindo-se no somatório total da valorização paga à central.

Tabela 4.8 — Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado

Valores recebidos na estratégia atual (€)			Valores recebidos com despacho (€)		
Ponta	Vazio	Total	Ponta	Vazio	Total
96.398,56	59.034,96	155.433,52	105.271,14	87.633,71	192.904,85

Como podemos verificar pelos valores da tabela, a valorização introduzida com a estratégia refletida pelo despacho individual horário tem benefícios irrefutáveis em relação à estratégia atual em caso de inserção no mercado. É de salientar que todos os valores são superiores no caso da nova estratégia. Para o caso do cenário de vazio, apresenta-se um aumento de 33%, e para o caso de ponta, o aumento é apenas de 8% resultando no caso global um aumento de 19%.

Analisando a próxima central, teremos novamente a figura demonstrativa dos valores recebidos pelo promotor da mesma.

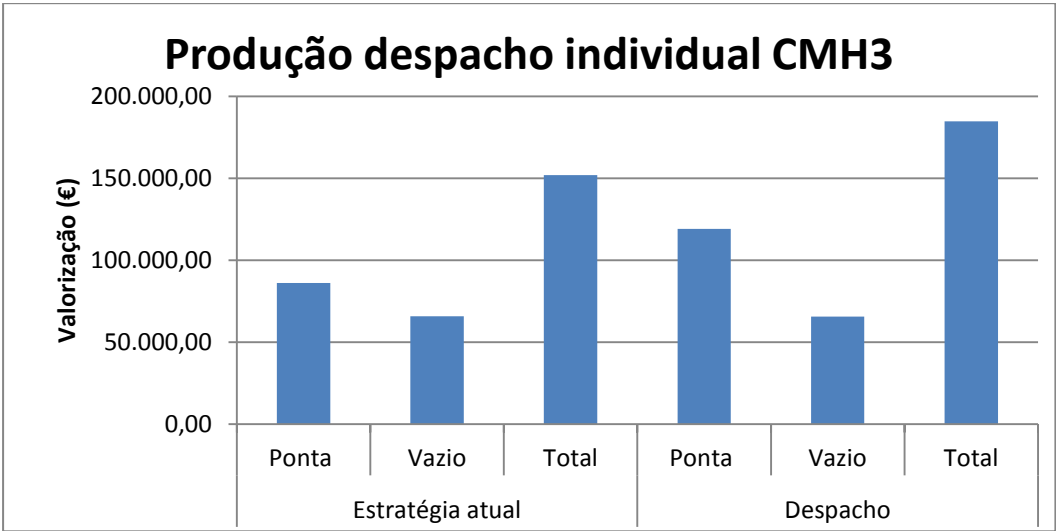


Figura 4.12 - Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado da CMH3

Verificando então a Figura 4.13, podemos verificar que existe uma melhoria nas horas que compõem o cenário de ponta, não se verificando o mesmo no caso do vazia cuja valorização se mantém igual. Isto indica que a estratégia de despacho definida promove a produção nas horas de ponta, refletindo um aumento significativo no valor total recebido pelo promotor da central. Importa referir que, como já foi indicado, esta central está incluída numa indústria têxtil, que utiliza a água para a confeção, e esta possível indisponibilidade de água a determinadas horas não foi tida em conta dada a falta de informação acerca das quantidades de água necessárias à indústria. No entanto, os valores foram limitados com base nas produções anteriores, pelo que, se pensa não existir entraves à utilização da estratégia otimizada realizada, que induz os resultados.

Tabela 4.9— Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado CMH3

Valores recebidos na estratégia atual (€)			Valores recebidos com despacho (€)		
Ponta	Vazio	Total	Ponta	Vazio	Total
86.165,30	65.753,02	151.918,32	119.131,03	65.594,58	184.725,61

Na análise da tabela e da Figura 4.12 acima retemos valores de aumento de 28% referente ao cenário de ponta. Não existem benefícios referentes ao cenário de vazio, sendo os valores muito próximos entre si e no total um aumento de 18%, que define o sucesso da ferramenta utilizada.

Analisando a imagem seguinte pode ver-se o comportamento da quarta central mini-hídrica

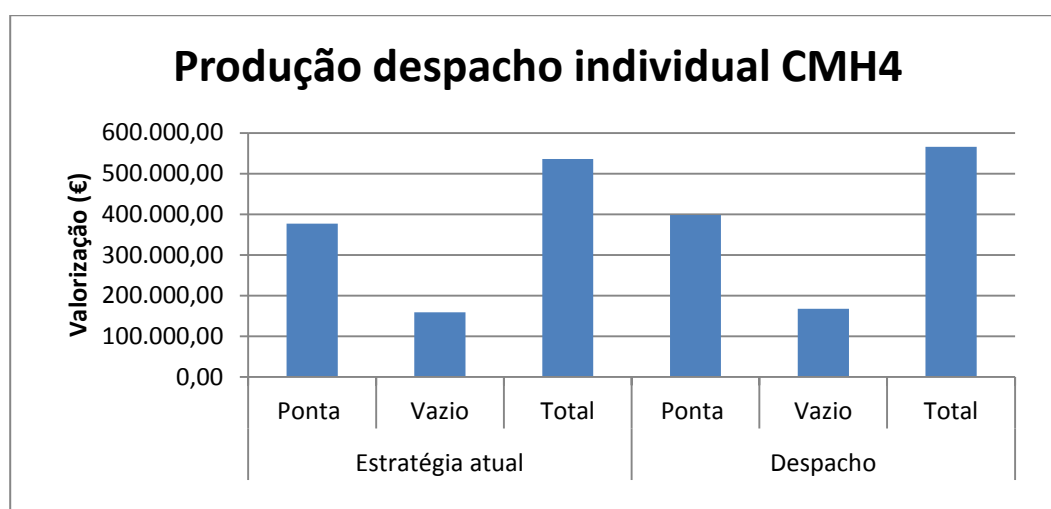


Figura 4.13 - Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado CMH4

Como podemos ver na Figura 4.14 existe, de facto, uma melhoria na introdução do despacho referente a um aumento da valorização por parte do mercado de eletricidade. No entanto, o aumento mais significativo acontece durante o cenário de ponta, sendo que, no caso de vazio o aumento não seja aparentemente tão significativo. Nos valores totais há logicamente uma melhoria como repercussão das melhorias de cada um dos cenários.

Tabela 4.10 – Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado CMH4

Valores recebidos na estratégia atual (€)			Valores recebidos com despacho (€)		
Ponta	Vazio	Total	Ponta	Vazio	Total
376.882,79	158.674,87	535.557,66	398.120,90	167.316,91	565.437,81

Na central mini hídrica 4 com a análise da tabela e imagem referentes, retemos aumentos a nível de valorização, nos cenários de vazio de 5%, ponta 5% e um valor total acumulado de 5%.

Passando então ao último caso particular, referente à quinta central mini-hídrica.

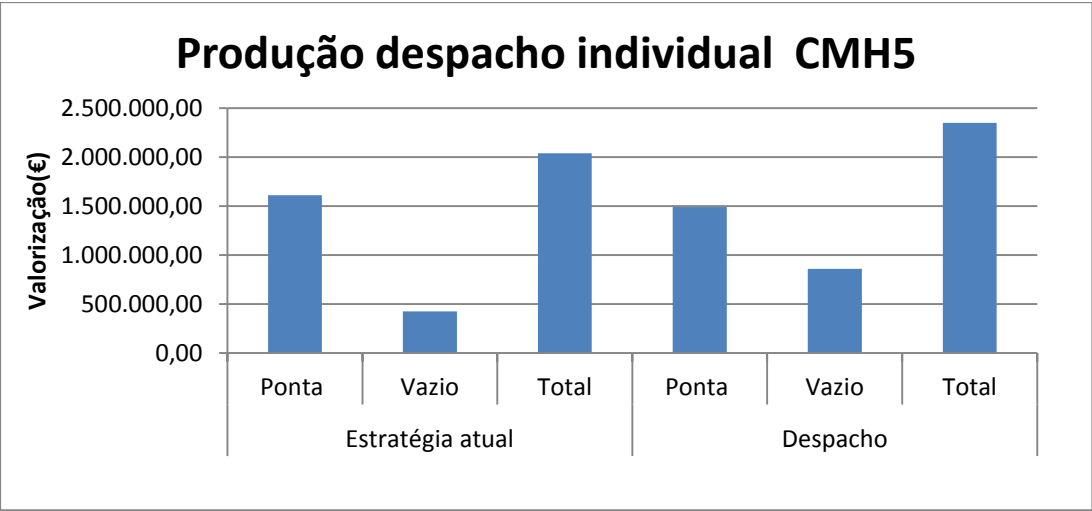


Figura 4.14 - Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado CMH5

Da imagem anterior, retemos que ao contrário do que se verificou para as outras centrais, é nas horas correspondentes ao cenário de vazio que existe uma considerável melhoria com a nova estratégia definida pelo despacho individual. Assim sendo, acaba por existir um pequeno prejuízo nas horas correspondentes ao cenário de ponta. Contudo, o benéfico sobrepõe-se a este pequeno prejuízo no somatório final que comparamos na mesma figura, verificando-se um aumento dos valores totais recebidos em mercado com a nova estratégia proveniente do despacho. De seguida mostra-se os valores exatos envolvidos nestes resultados.

Tabela 4.11 – Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado CMH5

Valores recebidos na estratégia atual (€)			Valores recebidos com despacho (€)		
Ponta	Vazio	Total	Ponta	Vazio	Total
1.611.650,67	425.558,40	2.037.209,12	1.488.510,20	860.171,12	2.348.681,32

Analisando a quinta central, obtemos valores de melhoria da valorização no que diz respeito ao cenário de vazio de 51%, no cenário de ponta 1, há uma diminuição de valorização de 8%, resultando um valor total dos dois cenários de 13% de aumento em relação à estratégia anterior.

Como já aconteceu na secção anterior, também por forma de tornar mais percetível o verdadeiro impacto deste estudo será analisado um aglomerado da produção global do território nacional a nível da tecnologia em estudo. O processo utilizado para a obtenção

destes resultados será o mesmo que é utilizado para uma central, uma vez que como já foi explicado, os valores de produção destas centrais serão utilizados como se tratando de uma grande central, cuja característica, e valores máximos e mínimos já foi estudado em secções anteriores deste trabalho. Como já foi também especificado os valores são relativos a um período contínuo de dois anos finito em março de 2012. São, portanto, dados muito atuais, para que a análise seja o mais realista e atual possível.

Apresentação dos resultados em termos de valorização recebida através do mercado para a produção nacional.

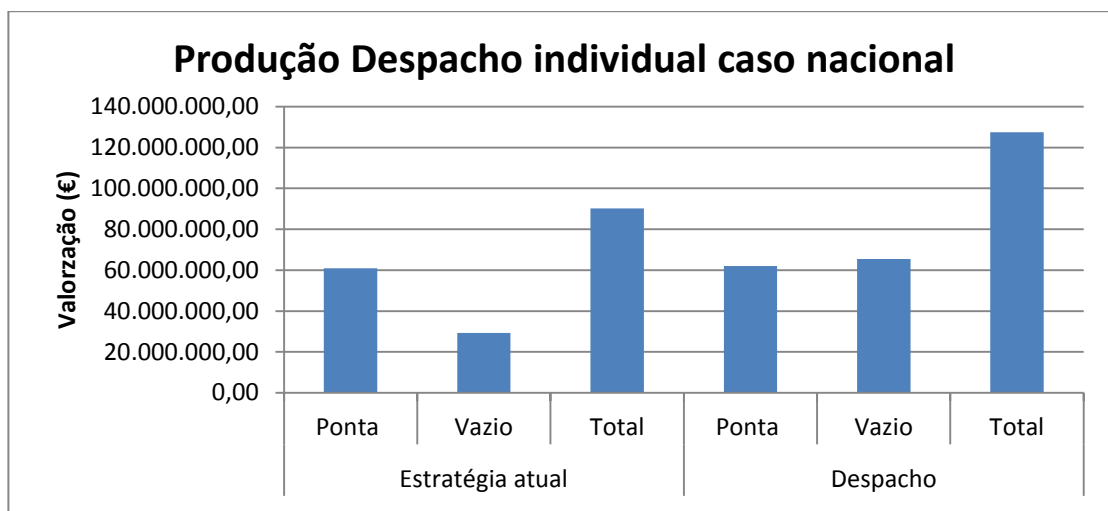


Figura 4.15 - Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado Nacional

Como se percebe, o valor recebido através do mercado no caso da estratégia atual, é em todos os parâmetros, mais baixo que o valor recebido na nova estratégia definida pelo despacho individual. Analisando pormenorizadamente, os valores dos cenários de ponta, apesar de se apresentarem superiores no caso do despacho, a diferença é pouco expressiva quando comparada com as outras parcelas da Figura 4.15, como é o caso do cenário de vazio em que o valor é o dobro para a nova estratégia de produção. Esta diferença entre os cenários de vazio reflete-se, também, nos valores totais.

Para melhor se entender os valores que estão na origem desta Figura, pode-se analisar a tabela 4.17 que, para além destes valores, introduz também uma comparação percentual entre o valor recebido sob forma de tarifa aplicando a atual estratégia.

Tabela 4.12 — Análise financeira entre o despacho e a estratégia atual em regime de mercado Nacional

Valores recebidos na estratégia atual (€)			Valores recebidos com despacho (€)		
Ponta	Vazio	Total	Ponta	Vazio	Total

60.950.062,70	29.304.949,13	90.255.011,83	61.995.548,82	65.466.470,87	127.462.019,69
---------------	---------------	---------------	---------------	---------------	----------------

Neste ultimo caso, e sendo o caso mais representativo, uma vez que é o caso que engloba a produção nacional, temos em termos de aumento da valorização introduzido pelo despacho ótimo, aumentos no cenário de vazio de 55% no cenário de ponta de 2% e um acumulado dos dois cenários total de 29%. Destaca-se que os referidos valores definem o sucesso deste trabalho e a eficiência da ferramenta.

4.3 - Análise com despacho otimizado integrando mercado com bonificação

4.3.1 - Introdução

Após análise da secção anterior concluímos os benefícios introduzidos pela nova estratégia de produção resultante da ferramenta do despacho. Será, agora, feita uma nova análise introduzindo as bonificações pagas através do regime de tarifa, admitindo que o estado continue a pagar o valor de bonificação que é pago até ao momento como sendo um valor médio por unidade de energia produzida para todas as centrais. Associando a estratégia de produção ao valor de bonificação pago atualmente pelo estado, será realizado uma análise comparativa por forma a perceber do ponto de vista do promotor os benefícios desta mudança de estratégia. Para isto, vamos admitir uma bonificação retirada do valor do acumulado da produção nacional, uma vez que é o caso médio mais próximo da realidade.

4.3.2 - Análise de resultados

Teremos, então, para a primeira central mini-hídrica, a comparação através da figura entre o valor recebido atualmente pelo regime da tarifa e o valor que se receberia caso a bonificação do regime de tarifa se mantivesse mas, neste caso, com a melhoria imposta na produção por parte do despacho.

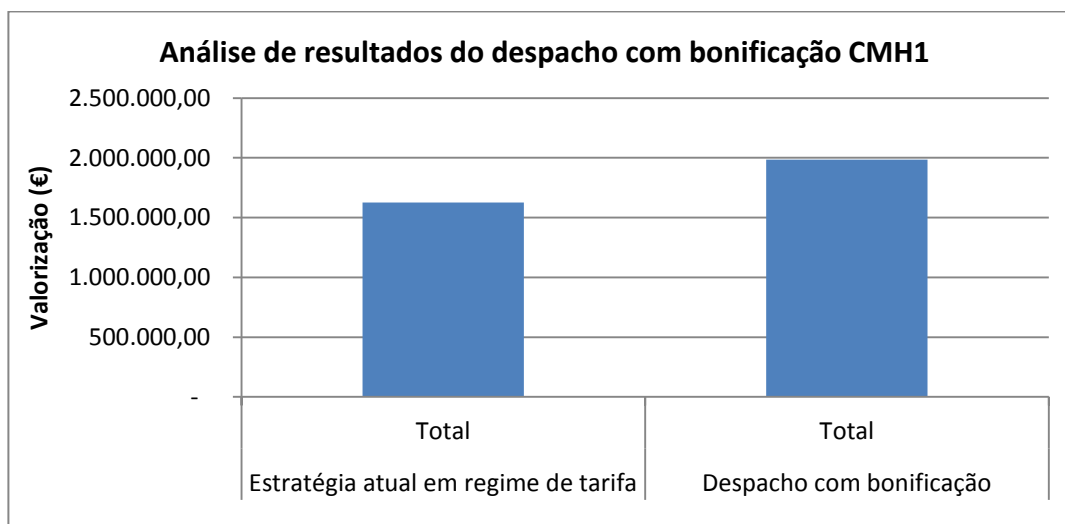


Figura 4.16 - Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH1

A primeira barra da Figura 4.16 diz respeito à estratégia atualmente assumida pela central em questão remunerada em regime de tarifa, enquanto a barra da esquerda diz

respeito a uma possível intervenção da central no mercado somada à bonificação garantida pelo estado.

Tabela 4.13 — Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH1

Estratégia atual em regime de tarifa	Despacho com bonificação
1.624.773,37	1.983.992,32

Pela Figura 4.16 e com auxílio da Tabela 4.13 podemos verificar que com a introdução do despacho associada a uma bonificação fixa média para as centrais nacionais, o valor recebido pelos promotores é bastante superior ao atual em regime de tarifa e com a estratégia característica desta central. Em termos percentuais o valor é 18% maior.

Olhando agora para a segunda central, teremos então da mesma forma a coluna do lado direito respeitante a atual estratégia e a do lado esquerdo ao despacho com bonificação.

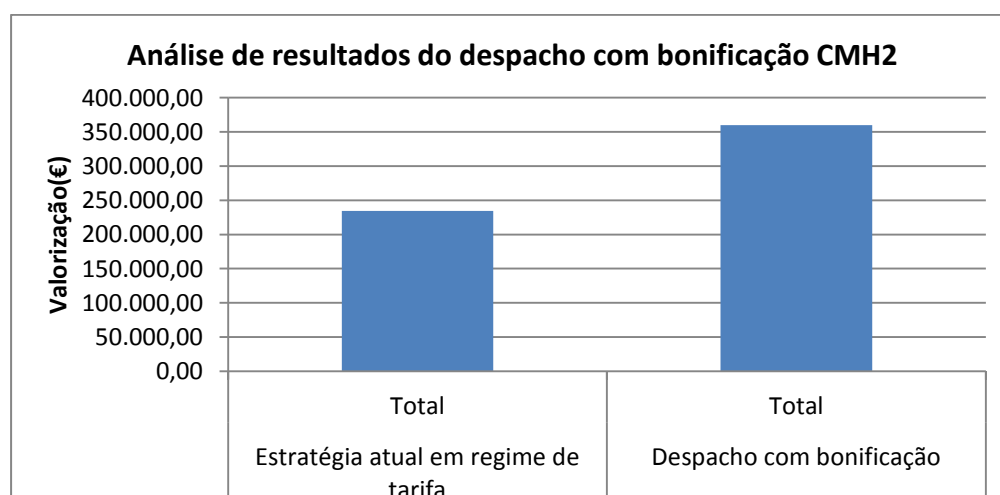


Figura 4.17- Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH2

Neste caso temos, também, um aumento de 34%, o que beneficia claramente o promotor, não prejudicando o estado, uma vez que o valor pago por este se mantém em média idêntico. Apresenta-se na tabela os valores envolvidos.

Tabela 4.14 – Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH2

Estratégia atual em regime de tarifa	Despacho com bonificação
234.386,56	360.024,23

Para a central mini hídrica 3 como já se verificou para as restantes, os valores são representativos dos mesmos cálculos.

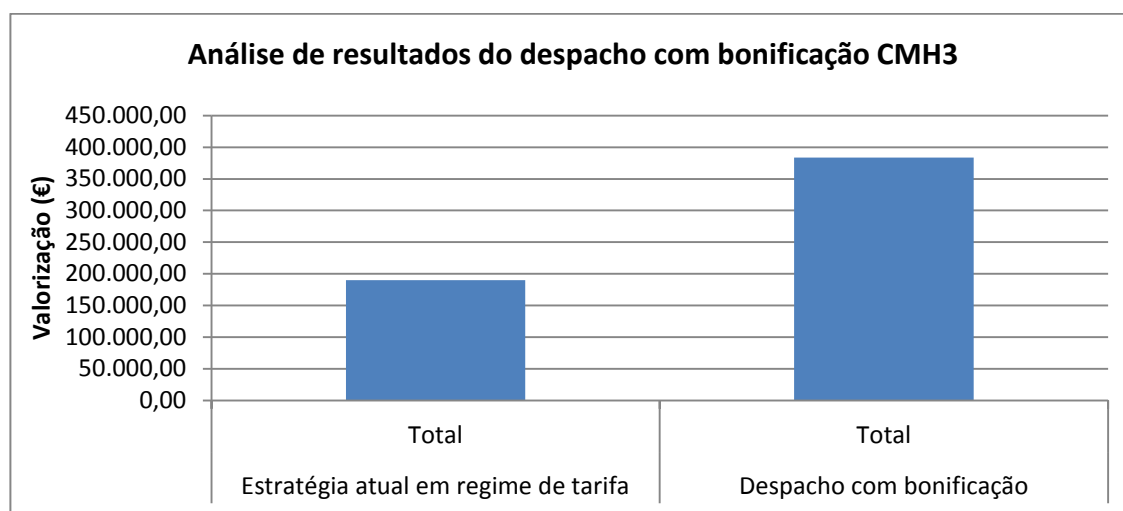


Figura 4.18 - Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH3

Neste caso e comparativamente com as anteriores, a relação entre os valores envolvidos é bastante superior sendo que o promotor acaba por receber mais do dobro (51%) do valor que receberia atualmente.

Tabela 4.15 – Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH3

Estratégia atual em regime de tarifa	Despacho com bonificação
189.985,64	383.872,79

Concretamente a diferença de preço é de cerca de duzentos mil euros por ano, assumindo-se o despacho para o caso desta central uma boa aposta.

No caso da quarta central mini-hídrica temos os valores representados na Figura 4.19.

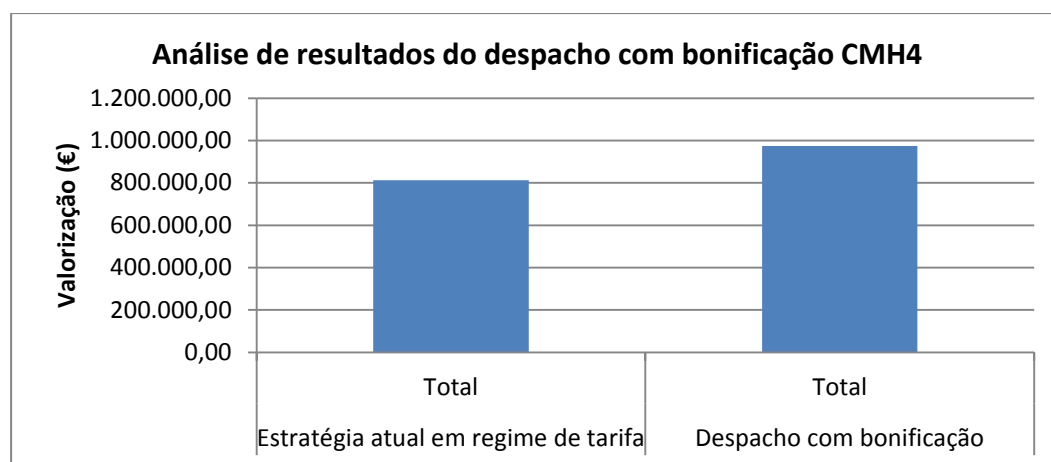


Figura 4.19 - Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH4

Como vemos na Figura 4.19, os valores recebidos por parte do mercado, somado com a bonificação média nacional, apresenta valores de remuneração bastante altos, existindo aumento de 16%. Apesar do valor percentual ser numa ordem mais baixa que os anteriores, importa focar que esta percentagem diz respeito a um lucro aproximado de 150 mil euros, para um ano apenas.

Tabela 4.16 — Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH4

Estratégia atual em regime de tarifa	Despacho com bonificação
812.184,94 €	973.921,52 €

Passemos então agora a última central mini-hídrica, cujos valores são apresentados para os casos idênticos aos das anteriores.

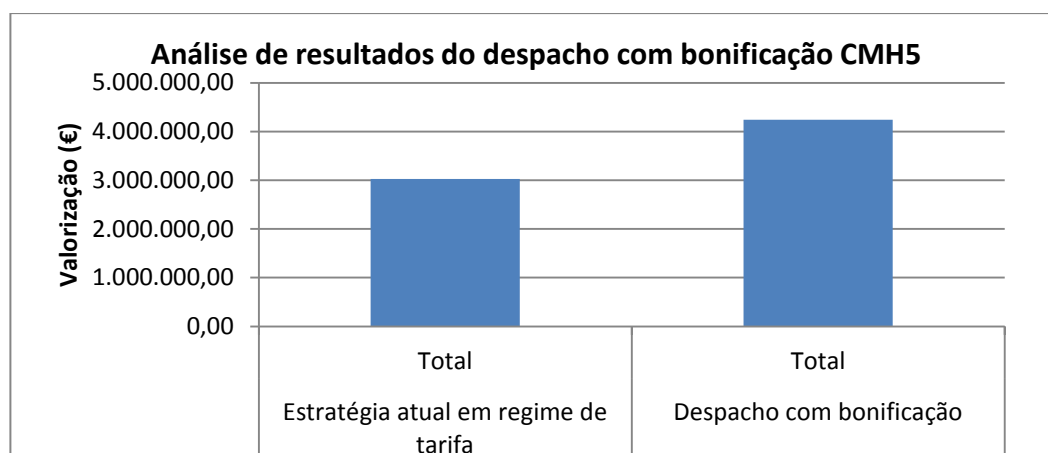


Figura 4.20 - Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH5

Neste caso existe também um aumento como aconteceu anteriormente, como podemos ver mais claramente pela seguinte tabela.

Tabela 4.17 – Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para a CMH5

Estratégia atual em regime de tarifa	Despacho com bonificação
3.023.996,05 €	4.241.299,47 €

Com os valores da tabela anterior podemos verificar o que já era perceptível na Figura 4.20. Executa o cálculo que permite conhecer o aumento percentual da valorização. Neste caso, o valor do despacho com bonificação é 28% superior ao anterior.

Passando agora ao caso nacional, que como já foi dito, assume grande grau de significância por se tratar do aglomerado de várias centrais de vários tipos e da simulação do que aconteceria ao parque de produção nacional caso houvesse uma mudança de paradigma deste tipo. Assim, na figura poderemos ver o impacto a nível de valorização para os promotores destes aproveitamentos.

Na coluna da direita aparece então a valorização correspondente à estratégia atual e do lado direito a valorização referente ao despacho.

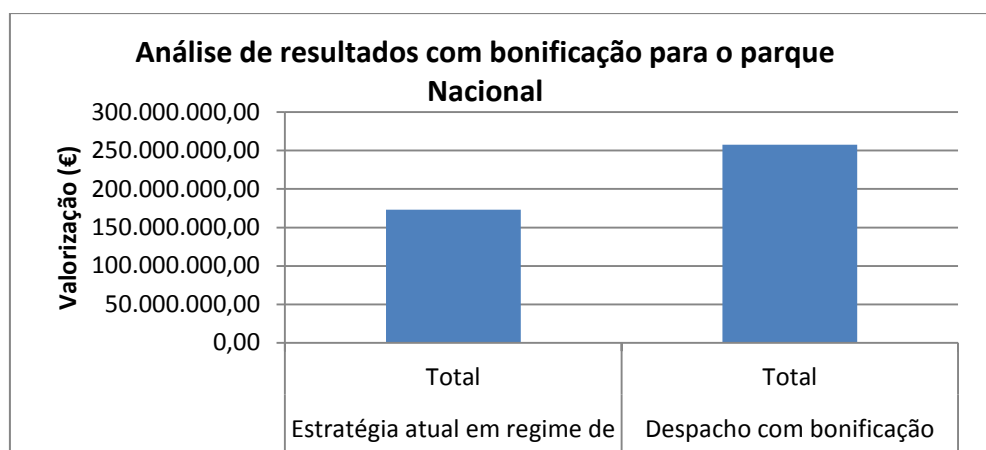


Figura 4.21 - Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para o parque de produção nacional

Como se pode verificar pela figura 4.21, e tal como aconteceu em todas as outras centrais analisadas, os valores recebidos através do despacho são bastante superiores apresentando um valor percentual de 32% superior em relação ao valor recebido pelo regime de tarifa na estratégia atual.

Tabela 4.18 – Análise comparativa entre os valores recebidos em tarifa e os valores recebidos através do mercado com a bonificação para o parque de produção nacional

Estratégia atual em regime de tarifa	Despacho com bonificação
173.032.752,43 €	257.548.237,37 €

Como vemos pelos valores da tabela, esta percentagem indicada, representa cerca de 84 milhões de Euros de benéfico apenas com a introdução do despacho, não modificando nada no valor recebido pelas centrais através do estado, valor esse, indicativo para dois anos de produção como já indicado.

Assim, verifica-se que para os promotores, esta forma de funcionamento apresenta-se, não só como uma boa alternativa mas também como um novo incentivo à introdução da produção através de centrais mini hídricas no mercado.

4.3.3 - Conclusão

Nesta secção provou-se que a introdução de qualquer uma das centrais estudadas em mercado é bastante proveitosa, visto do lado do promotor. Admitindo que o estado continua a pagar a bonificação média nacional a cada uma das centrais mini-hídricas, os valores recebidos no agregado das centrais nacionais, aumenta numa percentagem de 32%. Este facto incentiva os promotores.

Por outro lado, caso o estado tenha necessidade de diminuir os valores da bonificação, pode fazê-lo sem prejudicar os promotores, caso estes optem pela estratégia do despacho. Como tal, tanto do lado do estado, como do lado dos promotores é incentivada uma introdução das centrais mini-hídricas em mercado, utilizando para maximização de proveitos a ferramenta de despacho desenvolvida.

Capítulo 5

Conclusões

Numa análise superficial ao objetivo deste trabalho, a otimização do despacho de mini-hídrica para inclusão no mercado pode afirmar-se que foi atingido com sucesso, dado os resultados apresentados. Este trabalho providencia uma ferramenta que permite aos promotores das CMH determinar a otimização do despacho individual baseado nos preços de mercado a curto-prazo, por forma a maximizar o benefício económico dos promotores com a venda da energia no mercado do dia seguinte. Esta ferramenta concilia três diferentes cadeias de dados, energia passível de ser produzida num só dia, bem como preços de mercado do dia anterior e valores de produção máximos e mínimos horários de cada central, por forma a obter o despacho mais fiável e específico possível.

Conclui-se então, que uma boa forma de despacho para inclusão da tecnologia em causa, dada a sua capacidade de regularização e o seu carácter de regime de produção especial que permite o pagamento de bonificações adicionais, é o despacho para o dia seguinte baseado nos preços de mercado. Com a utilização deste, é possível aumentar o benefício trazido a estas centrais através do mercado elétrico, diminuindo, assim, a parcela paga pelos consumidores de energia sob forma de tarifa de uso global do sistema.

Dado o aumento que tem assumido o valor dos preços de mercado nos últimos anos e a sua tendência a acompanhar a subida dos preços do petróleo, dos quais são dependentes as centrais convencionais no nosso país, os valores de mercado vão tender para alcançar os valores hoje em dia pagos através das tarifas sendo que os valores das bonificações, que seriam atualmente pagas com a introdução das centrais em mercado, seriam desnecessários para garantir a sustentabilidade das mesmas. Com a introdução do despacho e o aumento respetivo do valor recebido pelo mercado, o alcance da sustentabilidade sem qualquer interação do estado ou dos consumidores está mais próximo, dependendo apenas da velocidade de evolução dos preços de mercado. Por outro lado, e como vimos na secção 4.3 trabalhada, caso o estado continue a fornecer a bonificação ao valor médio por unidade de produção para as centrais atualmente em vigor, a ferramenta elaborada é do ponto de vista dos promotores, uma forma de alcançar maiores lucros na produção de energia elétrica, bem como um incentivo a apostar na introdução destas centrais de produção no mercado de eletricidade.

Trabalho Futuro

Idealizando os benefícios deste trabalho, em termos do despacho individual pelos indicadores dos preços de mercado e associando este facto, há existência de outras formas de produção de energia através de variáveis endógenas, como é o caso da produção eólica. É possível, ainda, realizar, em seguimento a este trabalho, uma introdução agregada de todas as unidades de produção de energia em regime especial em mercado. Uma vez que a tecnologia aqui trabalhada tem capacidades únicas de regularização, seria possível associar esta sob forma de agregação a outras formas de produção que começam a ter grande cota de preenchimento em termos das necessidades energéticas, funcionando as CMH como ajuste para este agregado, da mesma forma que funcionaria uma central de ponta no atual mercado.

Referências

- [1] European comission, “The Eu Climate and energy package”, Disponível em http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm , acesso em Maio 2012
- [2] Ministério de Economia e da Inovação, “Decreto -Lei n.º 172/2006, de 23 de Agosto”
- [3] Ministério da Industria e Energia, “Decreto-Lei n.º 189/88 de 27 de Maio”
- [4] Entidade reguladora do sistema elétrico, “Harmonização regulatória da integração da produção em regime especial no MIBEL e na operação dos respetivos sistemas elétricos”, 2012
- [5] C. Dragu, T. Sels and R Belmans, “ Small Hydro Power State of the Art and Applications,”
- [6] European Small HydriPower association (ESHA), “ State of the art of small hydro in UE-25” (2004)
- [7] F.H. Schwartz and M. Shahidehpour, “ Small Hydro as Green Power” in EIC Climate Change Technology, 2006 IEEE, 2006, pp.1-6.
- [8] OMEL, disponível em <http://www.omelholding.es/omel-holding/>
- [9] Energias endógenas de Portugal, base de dados das fontes renováveis de energia”, disponível em <http://e2p.inegi.up.pt/index.asp>, ultimo acesso em junho 2012
- [10] Rede eletrica nacional, S.A.2 Potencial hidroelétrico Nacional: Importância Socioeconómica e Ambiental do seu Desenvolvimento, Novembro 2006.
- [11] Agencia para a Energia & REN - Rede elétrica nacional, S.A. “ Potencial hidroeletrico Nacional : Importancia Sócio-Económica e Ambiental do seu Desenvolvimento , Novembro 2001
- [12] Rui M. G. Castro, “ Introdução à Energia Mini-Hidrica” Março 2008.
- [13] Portal das Energias Renováveis, “ Hídrica- Estado em Portugal”, Acesso em 26 de Maio
- [14] RESCUE, “ Technology Status Bolletin- Small HidroPower”.2004
- [15] Hélder S. Teixeira. “Caracterização da Produção de Centrais Mini - Hídricas” 2009 (disponível em <http://repositorioaberto.up.pt/bitstream/10216/57522/1/000137617.pdf>)
- [16] Mini-hidricas, Aproveitamentos Hidroeletricos “, disponível em <http://eduvisilva.com.sapo.pt/minihidrica.htm>
- [17] Ministério da Economia, “ Decreto-Lei nº 168/99 de 18 de Maio”.
- [18] Entidade Reguladora do Sistema Elétrico, “Nota Explicativa Da Informação Sobre Produção Em Regime Especial”, Agosto de 2009
- [19] Direção geral de Energia e Geologia, “Linhas estratégicas para a revisão dos Planos Nacionais de Acção para as Energias Renováveis e Eficiência Energética”, Junho de 2012
- [20] Entidade Reguladora do Sistema Elétrico, “ Informação Sobre Produção Em Regime Especial”, Abril de 2012
- [21] João Paulo Tomé Saraiva, José Luís Pinto Pereira da Silva e Maria Teresa Ponce de Leão, “Mercados de electricidade”, 2002

- [22] MIBEL, “Descrição de Funcionamento do MIBEL”, Novembro de 2009
- [23] Ministério da Economia, “ Decreto-Lei nº 312/2001” de 10 de Dezembro”
- [24] Entidade Reguladora do Sistema elétrico, <http://www.erse.pt/pt/electricidade/factosenumeros/Documents/SIPREinfoAbr12.pdf>
- [25] Edp “ Produção em regime especial” disponível em <http://www.edp.pt/pt/aedp/unidadesdenegocio/producaodeelectricidade/Pages/RegimeEspecial.aspx>
- [26] Institut National Polytechnique de Grenoble “Objectives for small hydro Technology”.
- [27] O. Parish , “ Small hydro power: technology and current status,” Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 6, pp.537-556,2002.
- [28] ESHA, “Guide on How to Develop a Small Hydropower Plant”, 2004.

Anexo A - Despacho Individual

A.1 - Dados de produção e Resultados

TABELA

Mes	Ponta		Vazio	
	VFD semilush	VFD lush	VFD semilush	VFD lush
1	9,6453537	0,09643353	1	6,2532015
2	9,45333056	0,08533305	2	9,1814207
3	9,65636627	0,09563666	3	9,1670458
4	9,74834694	0,09748348	4	8,3287035
5	9,70738351	0,09707384	5	8,35677953
6	9,70446951	0,09704462	6	8,25287404
7	9,64458426	0,09444584	7	8,1455336
8	9,44270898	0,09427089	8	8,19187898
9	9,44430242	0,09443022	9	8,1023631
10	9,14334656	0,09433465	10	8,1271358
11	9,46747591	0,09467468	11	8,1215841
12	9,64344624	0,09643446	12	8,24883134

Desajuste

Ponta	Vazio	Ponta	Vazio
176343,377	65862,9727	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

Resumo

Resumo	Desajuste	Carico
Desajuste	176343,377	65862,9727
Carico	44850,205	86071,198

A.2 - Folha de Calculo do despacho diário

[illegible]

A.3 - Script em Visual Basic do despacho económico

// Inicialização da Macro

```
Sub Despacho()
```

```
    Diastotal = Worksheets("dados").Cells(37, 24).Value
```

```
    XR = 54
```

//Ciclo para percorrer todos os dias

```
For k = 1 To Diastotal
```

// Ciclo que copia as horas do dia para a folha de cálculo

```
    For i = 0 To 23
```

```
        Worksheets("CALculo do despacho").Cells(6 + i, 4).Value = i
```

```
    Next i
```

// Recolha dos preços de Mercado para o dia em questão

```
    Sheets("dados").Activate
```

```
        ActiveSheet.Range(Cells(XR, 8), Cells(XR + 23, 8)).Copy
```

```
    Sheets("CALculo do despacho").Activate
```

```
    ActiveSheet.Range(Cells(6, 5), Cells(29, 5)).PasteSpecial
```

```
    Sheets("CALculo do despacho").Activate
```

```
    ActiveSheet.Range(Cells(6, 12), Cells(29, 12)).PasteSpecial
```

```
    Range("D5:E29").Select
```

// Ordenação dos preços por ordem crescente

```
    ActiveWorkbook.Worksheets("CALculo do despacho").Sort.SortFields.Clear
```

```
    ActiveWorkbook.Worksheets("CALculo do despacho").Sort.SortFields.Add Key:= _
```

```

Range("E6:E29"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlDescending, DataOption _
:=xlSortNormal

With ActiveWorkbook.Worksheets("Cálculo do despacho").Sort

.SetRange Range("D5:E29")

.Header = xlYes

.MatchCase = False

.Orientation = xlTopToBottom

.SortMethod = xlPinYin

.Apply

End With

Sheets("dados").Activate

```

// Obtenção da Previsão da Produção e limites de Produção

```
ActiveSheet.Range(Cells(XR, 4), Cells(XR + 23, 4)).Copy
```

```
Sheets("Cálculo do despacho").Activate
```

```
ActiveSheet.Range(Cells(6, 8), Cells(29, 8)).PasteSpecial
```

// Limite Máximo

```
Sheets("dados").Activate
```

```
ActiveSheet.Range(Cells(XR, 18), Cells(XR + 23, 18)).Copy
```

```
Sheets("Cálculo do despacho").Activate
```

```
ActiveSheet.Range(Cells(6, 10), Cells(29, 10)).PasteSpecial
```

//Limite minimo

```
Sheets("dados").Activate
```

```
ActiveSheet.Range(Cells(XR, 17), Cells(XR + 23, 17)).Copy
```

```
Sheets("Cálculo do despacho").Activate
```

```
ActiveSheet.Range(Cells(6, 11), Cells(29, 11)).PasteSpecial
```

```
Range("J5:L29").Select
```

// Ordenação dos limites de produção

```
Application.CutCopyMode = False
ActiveWorkbook.Worksheets("Calculo do despacho").Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Calculo do despacho").Sort.SortFields.Add Key:= _
    Range("L6:L29"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlDescending, DataOption _
        :=xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Calculo do despacho").Sort
    .SetRange Range("J5:L29")
    .Header = xlYes
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With
```

X = 1 // FLaG

For i = 1 To 24

//Início do despacho

/ Definição da produção acumulada

ProduçãoAcumulada = Worksheets("Calculo do despacho").Cells(5 + i, 6).Value //

Definição da energia a ser produzida no dia

EnergiaMax = Worksheets("Calculo do despacho").Cells(30, 8).Value

// Definição da energia a ser produzida no dia

MinimoObriga = Worksheets("Calculo do despacho").Cells(5 + i, 11).Value

// Coloca o valor de produção no limite máximo enquanto a Produção acumulada diariamente não atinge a energia a produzir no dia

If EnergiaMax > ProduçãoAcumulada Then

```
    Worksheets("Calculo do despacho").Cells(5 + i, 13).Value = Worksheets("Calculo do despacho").Cells(5 + i,
        10).Value
```



```
// Quando a anterior deixa de acontecer, pela primeira vez, é colocado na produção dessa hora o valor que sobra
// entre a energia máxima e a produção acumulada
```

```
Elseif (EnergiaMax - ProduçãoAcumulada) < 0 And X = 1 Then
```

```
X = 0 // flag
```

```
// Verifica se a energia que sobra é superior ao limite mínimo, em caso positivo coloca o valor da energia sobran
```

```
If ((ProduçãoAcumulada - EnergiaMax) > MinimoObriga) Then
```

```
Worksheets("Calculo do despacho").Cells(5 + i, 13).Value = (ProduçãoAcumulada - EnergiaMax)
```

```
Worksheets("Calculo do despacho").Cells(5 + i, 7).Value
```

```
End If
```

```
// Caso contrário coloca o mínimo obrigatório
```

```
Else
```

```
Worksheets("Calculo do despacho").Cells(5 + i, 13).Value = Worksheets("Calculo do despacho").Cells(3,
7).Value
```

```
End If
```

```
Next i
```

```
// Passa o Valor da produção do despacho para uma nova tabela, bem como o preço de mercado e a hora
// correspondente.
```

```
For i = 1 To 24
```

```
Worksheets("Calculo do despacho").Cells(4 + i, 15).Value = Worksheets("Calculo do despacho").Cells(5 + i, 4).Value
```

```
Next i
```

```
For i = 1 To 24
```

```
Worksheets("Calculo do despacho").Cells(4 + i, 16).Value = Worksheets("Calculo do despacho").Cells(5 + i, 5).Value
```

86 Anexo A - Despacho Individual

Next i

For i = 1 To 24

Worksheets("Calculo do despacho").Cells(4 + i, 17).Value = Worksheets("Calculo do despacho").Cells(5 + i, 9).Value

Next i

Range("O4:Q28").Select

// Reordenação da produção pelas horas no formato original

ActiveWorkbook.Worksheets("Calculo do despacho").Sort.SortFields.Clear

ActiveWorkbook.Worksheets("Calculo do despacho").Sort.SortFields.Add Key:= _

Range("O5:O28"), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _

xlSortNormal

With ActiveWorkbook.Worksheets("Calculo do despacho").Sort

.SetRange Range("O4:Q28")

.Header = xlYes

.MatchCase = False

.Orientation = xlTopToBottom

.SortMethod = xlPinYin

.Apply

End With

/ Cópia do resultado para a página dos resultados correspondente ao dia em questão

Sheets("Calculo do despacho").Activate

ActiveSheet.Range(Cells(5, 17), Cells(28, 17)).Copy

Sheets("dados").Activate

ActiveSheet.Range(Cells(XR, 20), Cells(XR + 23, 20)).PasteSpecial

// Itera 24 horas passando para o seguinte dia

$XR = XR + 24$

Next k

End Sub